

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
8. Juli 2004 (08.07.2004)

PCT

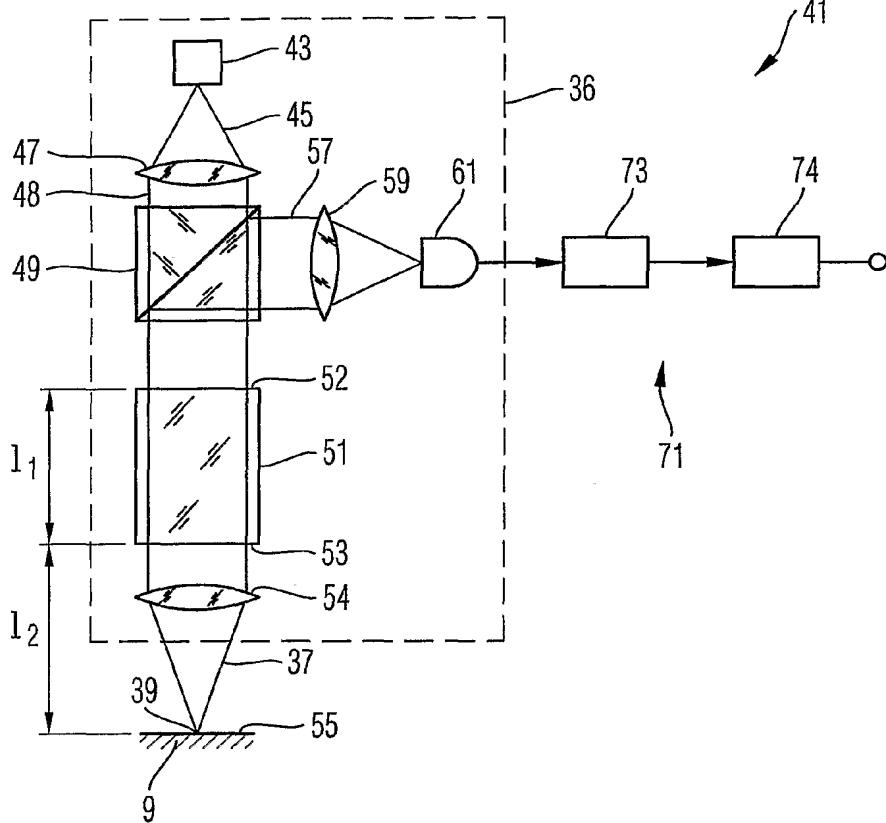
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2004/057266 A2

- | | | |
|---|--|--|
| (51) Internationale Patentklassifikation ⁷ : | G01B 9/02 , 11/03, 11/24 | (71) Anmelder (nur für AT, BE, BG, CH, CY, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GR, HU, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR): CARL ZEISS [DE/DE]; 89518 Heidenheim (Brenz) (DE). |
| (21) Internationales Aktenzeichen: | PCT/EP2003/014636 | (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von CZ, GB, IE, US): CARL-ZEISS-STIFTUNG trading as CARL ZEISS [DE/DE]; 89518 Heidenheim (Brenz) (DE). |
| (22) Internationales Anmeldedatum: | 19. Dezember 2003 (19.12.2003) | |
| (25) Einreichungssprache: | Deutsch | (72) Erfinder; und |
| (26) Veröffentlichungssprache: | Deutsch | (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HAUGER, Christoph [DE/DE]; Bertha-von-Suttner-Weg 46, 73431 Aalen (DE). LASSE, Theo [DE/CH]; Rue de la Gare 7, CH-1162 St. Prex (CH). SIEGEL, Augustin [DE/DE]; Werner-von-Braun-Strasse 27\$, 73447 Oberkochen (DE). HÖLLER, Frank [DE/DE]; Milanweg 25, 73434 Aalen |
| (30) Angaben zur Priorität: | 102 60 256.5 20. Dezember 2002 (20.12.2002) DE | |

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INTERFEROMETER SYSTEM AND MEASURING DEVICE

(54) Bezeichnung: INTERFEROMETERSYSTEM UND MESSVORRICHTUNG



(57) Abstract: The invention relates to an interferometer system (41), especially for use in a co-ordinate measuring system. Said interferometer system comprises, disposed in an illumination beam path, a pair of spaced-apart boundary surfaces (52, 53). A boundary surface (53) facing an object (9) is arranged in a detection beam path, a detector (61) being additionally disposed in said detection beam path. The invention also relates to an interferometer system, especially one of the above-described type, which is provided with a speed indicating system for detecting a relative speed between the test head and the object. A frequency filter of the interferometer system is adjusted depending on the relative speed.

WO 2004/057266 A2

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



(DE). **KNUPFER, Klaus** [DE/DE]; Alemannenstrasse 55, 73457 Essingen (DE). **MONZ, Ludwin** [DE/DE]; Pfarrer-Brantzen Str. 48, 55122 Mainz (DE). **GROSS, Herbert** [DE/DE]; Ginsterweg 3/1, 73457 Essingen (DE).

(74) **Anwälte:** SCHORR, Frank usw.; Augustenstrasse 46, 80333 München (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten (national):** AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten (regional):** ARIPO-Patent (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches Patent (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI-Patent (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) **Zusammenfassung:** Es wird ein Interferometersystem (41) insbesondere zur Verwendung für ein Koordinatenmessgerät vorgeschlagen, wobei das Interferometersystem in einem Beleuchtungsstrahlengang ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten Grenzflächen (52, 53) aufweist und eine einem Objekt (9) zuweisende Grenzfläche (53) des Grenzflächenpaars in einem Detektionsstrahlengang angeordnet ist, wobei in dem Detektionsstrahlengang ferner ein Detektor (61) angeordnet ist. Ferner wird ein Interferometersystem, insbesondere der vorangehend geschilderten Art, vorgeschlagen, welches ein Geschwindigkeitsmesssystem zur Erfassung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Messkopf und dem Objekt aufweist, wobei ein Frequenzfilter des Interferometersystems in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit eingestellt wird.

Interferometersystem und Meßvorrichtung

10

Die Erfindung betrifft ein Interferometersystem sowie ein Werkzeug, insbesondere ein Meßwerkzeug oder/und ein Bearbeitungswerkzeug, mit einem solchen Interferometersystem.

15

Beispielsweise aus der US-Patentschrift 4,175,327 ist ein Koordinatenmeßgerät mit einer Werkstückhalterung zur Anbringung eines zu vermessenden bzw. anzutastenden Werkstücks und einem bezüglich der Werkstückhalterung räumlich verlagerbaren Tastkopf bekannt. An dem Tastkopf ist ein Taststift in einer Ruhelage bezüglich des Tastkopfes gehalten, wobei Auslenkungen des Taststiftes aus dieser Ruhelage gegen eine Federkraft möglich sind und von dem Tastkopf registriert werden. Zur Bestimmung von Koordinaten einer Oberfläche des Werkstücks wird der Tastkopf bezüglich der Werkstückhalterung räumlich verfahren, bis eine Spitze des Taststiftes, welche beispielsweise die Gestalt einer Kugel aufweisen kann, mit der Oberfläche des Werkstückes in Berührungskontakt kommt. Dies führt zu einer Auslenkung der Tastspitze aus ihrer Ruhelage, was von dem Tastkopf registriert wird. Sodann werden die Relativpositionen des Tastkopfes bezüglich der Werkstückhalterung bestimmt, woraus die Koordinaten des Punktes auf der Oberfläche des Werkstückes ermittelt werden können, an welchem der Berührkontakt zwischen Werkstückoberfläche und Taststift stattfindet. Es können auf ähnliche Weise weitere Koordinaten von Oberflächenpunkten des Werkstückes ermittelt werden. Es

ist ebenfalls möglich, den Tastkopf relativ zu dem Werkstück so zu verfahren, daß der Taststift mit einer vorbestimmten Anlagekraft gegen die Werkstückoberfläche gedrückt wird, so daß die Werkstückoberfläche nach und nach systematisch abgetastet werden kann, um deren Geometrie zu vermessen.

Das bekannte Koordinatenmeßgerät setzt zur Ermittlung von Koordinaten der Werkstückoberfläche einen mechanischen Kontakt zwischen der Werkstückoberfläche und dem Meßkopf voraus. Dies kann zum einen bei empfindlichen Werkstücken zu einer Beschädigung oder Deformation des Werkstückes selbst führen und zum anderen, insbesondere bei miniaturisierten Tastköpfen, zu einer Beschädigung des Tastkopfes bzw. Taststiftes selbst, wenn dessen Annäherung an das Werkstück mit einer zu hohen Geschwindigkeit erfolgt.

Es ist demgemäß eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Meßvorrichtung vorzuschlagen, welche einen berührungslos arbeitenden Tastkopf aufweist.

Ferner ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Interferometersystem vorzuschlagen, welches als ein Abstandssensor arbeiten kann und insbesondere in einem Tastkopf der Meßvorrichtung einsetzbar ist.

Hierzu schlägt die Erfindung unter einem ersten Aspekt ein Interferometersystem mit einem Meßkopf zum Senden von Beleuchtungsstrahlung auf ein Objekt und zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Detektionsstrahlung vor, wobei eine Anordnung des Meßkopfes mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt vorgesehen ist.

Das Interferometersystem umfaßt insbesondere eine erste Strahlungsquelle zur Bereitstellung von Strahlung mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge kleiner als der Arbeitsabstand, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten 5 teilreflektierenden Grenzflächen, und einen Detektor. Das Interferometersystem stellt insbesondere einen Beleuchtungsstrahlengang für auf das Objekt gerichtete Beleuchtungsstrahlung bereit. In dem Beleuchtungsstrahlengang ist vorzugsweise die erste Grenzfläche des Grenzflächenpaars 10 zwischen der Strahlungsquelle und dem Objekt angeordnet und eine zweite Grenzfläche des Grenzflächenpaars zwischen der Strahlungsquelle und der ersten Grenzfläche angeordnet.

Ferner stellt das Interferometersystem insbesondere einen 15 Detektionsstrahlengang für die von dem Objekt zurückgeworfene Detektionsstrahlung bereit. In dem Detektionsstrahlengang ist die erste Grenzfläche zwischen dem Objekt und dem Detektor angeordnet.

Bei diesem Aufbau des Interferometersystems ergeben sich 20 dann an dem Detektor aufgrund von konstruktiven bzw. destruktiven interferenten Strahlungsüberlagerungen Erhöhungen und Abschwächungen eines Detektionssignals, wenn eine optische Weglänge zwischen der ersten Grenzfläche und dem Objekt in einem Bereich um einer optischen Weglänge zwischen den beiden Grenzflächen liegt. Derartige Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen sind durch eine Auswerteschaltung 25 des Interferometersystems detektierbar, so daß von der Schaltung ein Signal ausgegeben werden kann, welches anzeigen, ob der Meßkopf mit im wesentlichen dem vorbestimmten Arbeitsabstand von dem Objekt angeordnet ist oder nicht. Diese Detektion ist ohne direkten mechanischen Kontakt zwischen dem Meßkopf und dem Objekt möglich, weshalb das Interferometersystem beispielsweise als Ersatz für einen 30

einen mechanischen Kontakt registrierenden Tastkopf eines Koordinatenmeßgerätes dienen kann.

- Es ist bevorzugt, wenn das Interferometersystem eine in dem Detektionsstrahlengang zwischen der ersten Grenzfläche und dem Detektor angeordnete Strahlungsweiche umfasst, die den Detektionsstrahlengang aus dem Beleuchtungsstrahlengang auskoppelt. Bei manchen Lichtquellen (z.B. SLDs) kann aber das vom Objekt zurückgeworfene Licht auch durch die Lichtquelle hindurch auf den Detektor geführt werden. Sofern vorgesehen, ist die Strahlungsweiche in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der ersten Grenzfläche angeordnet.
- Vorzugsweise ist die Strahlungsweiche in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle und der zweiten Grenzfläche angeordnet, es ist jedoch ebenfalls bevorzugt die Strahlungsweiche zwischen dem Grenzflächenpaar anzurichten.
- Die erste Kohärenzlänge ist vorzugsweise kürzer als der Arbeitsabstand und insbesondere wesentlich kürzer als ein Abstand zwischen der ersten Grenzfläche und dem Objekt, wenn dieses mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist. Vorzugsweise umfaßt das Interferometersystem eine Fokussieroptik zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlung in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus, welche mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht.

Es sind dann vorzugsweise eine zweite Strahlungsquelle zur Bereitstellung von Strahlung ebenfalls einer vorbestimmten Kohärenzlänge vorgesehen, wobei die von der ersten und der

zweiten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlungen in dem Beleuchtungsstrahlengang überlagert sind. Hierbei unterscheiden sich die von der ersten bzw. der zweiten Strahlungsquelle bereitgestellten Strahlungen hinsichtlich ihrer Wellenlänge, so daß die Fokussieroptik die jeweilige Strahlung an verschiedenen Beleuchtungsstrahlungsfoki fokussiert, welche mit unterschiedlichem Abstand von dem Meßkopf angeordnet sind. Es ist somit möglich, festzustellen, ob das Objekt nahe dem ersten, nahe dem zweiten oder nahe einem möglichen weiteren Beleuchtungsstrahlungsfokus angeordnet ist.

Um festzustellen, ob das Objekt mit in etwa dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist, ist vorzugsweise wenigstens eine Grenzfläche des Grenzflächenpaars mittels eines Antriebes relativ zu dem Meßkopf verlagerbar. Bei einer Untersuchung des von dem Interferometersystem bereitgestellten Meßsignals in Abhängigkeit von der Verlagerung der wenigstens einen Grenzfläche relativ zu dem Meßkopf ist es dann möglich, festzustellen, ob das Objekt in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand von dem Meßkopf liegt.

Das Grenzflächenpaar kann, gemäß einer bevorzugten Ausführungsform, durch zwei einander gegenüberliegende Oberflächen eines transparenten Körpers bereitgestellt sein. Ebenfalls bevorzugt ist es jedoch, das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten bereitzustellen. Bei einer Realisierung des Interferometersystems mittels lichtleitender Fasern ist es weiterhin bevorzugt, in einer der lichtleitenden Fasern mit Abstand voneinander angeordnete teilreflektierende Strukturen, beispielsweise als Bragg-Gitter, bereitzustellen, um das Grenzflächenpaar zu realisieren.

Das Interferometersystem ist vorzugsweise ein Weißlicht-Interferometersystem, das heißt die von der ersten Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung weist eine Kohärenz 5 länge auf, die in etwa der Genauigkeit, mit der eine Bestimmung des Abstandes zwischen dem Meßkopf und dem Objekt möglich ist, entspricht. Ist das Objekt zunächst mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet, welcher größer ist als der vorbestimmte Arbeitsabstand, und wird der Meßkopf so 10 dann mit einer konstanten Geschwindigkeit dem Objekt angenähert, so treten in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand abwechselnd Signalerhöhungen aufgrund konstruktiver Interferenz und Signalabschwächungen aufgrund destruktiver Interferenz auf. Die Abfolge der Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen tritt mit einer Frequenz auf, welche von der Geschwindigkeit abhängt, mit der sich der Meßkopf und das Objekt einander annähren. Da das Detektionssignal des Interferometersystems mit einem starken Rauschen behaftet ist, ist es vorteilhaft, das Detektions- 15 signal einer Frequenzfilterung, insbesondere Bandpaßfilterung, zu unterwerfen, um die Anordnung des Objekts in einem Bereich um den vorbestimmten Arbeitsabstand zu registrieren. Die Signalverarbeitung kann aber auch durch geeignete Computerprogramme erfolgen.

25

Unter einem weiteren Aspekt geht die Erfindung aus von einem Weißlicht-Interferometersystem mit einem ersten Detektor und einer Verarbeitungsschaltung für von dem ersten Detektor bereitgestellten Meßsignalen, wobei die Verarbeitungsschaltung einen Frequenzfilter für Signale umfaßt, welche eine von dem ersten Detektor registrierte Strahlungsintensität repräsentieren.

Die Erfindung zeichnet sich unter diesem Aspekt dadurch aus, daß an dem Meßkopf ein Geschwindigkeitsmeßsystem vorgesehen ist, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, das eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert. Es wird dann der Frequenzfilter für die Signale des ersten Detektors in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal eingestellt. Hierdurch ist es möglich, die Auswertung der Signale des ersten Detektors des Weißlicht-Interferometers im wesentlichen optimal auf eine an sich unbekannte Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt einzustellen.

Vorzugsweise umfaßt das Geschwindigkeitsmeßsystem einen Strahlengang für eine von einer dritten Strahlungsquelle bereitgestellte Strahlung mit einer großen Kohärenzlänge. Auch diese Strahlung wird zu dem Objekt hin ausgesendet, und von dem Objekt zurückkommende Strahlung wird in interferente Überlagerung mit einer Referenzstrahlung gebracht, so daß, im wesentlichen unabhängig von dem Abstand zwischen Meßkopf und Objekt, abwechselnd eine interferente Signalerhöhung bzw. -abschwächung bei der Detektion dieser Strahlung entsteht und aus der Frequenz dieser Signalerhöhungen bzw. -abschwächungen die Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt wenigstens hinsichtlich ihrer absoluten Größe bestimbar ist.

Vorzugsweise sind die Strahlengänge für die Strahlung der kurzen Kohärenzlänge und die Strahlung der großen Kohärenzlänge zwischen Meßkopf und Objekt einander überlagert. Für die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung der kurzen Kohärenzlänge und die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung der großen Kohärenzlänge sind vorzugsweise separate Detektoren vorgesehen. Es ist jedoch auch möglich, beide Strahlungen mit einem gemeinsamen Detektor nachzuweisen.

Unter einem weiteren Aspekt sieht die Erfindung eine Meßvorrichtung vor, welche eine Plattform zur Anbringung des Objekts, einen Meßkopf und eine den Meßkopf tragende Verlagerungsmechanik zur Verlagerung des Meßkopfes relativ zu der Plattform umfaßt. Hierbei umfaßt die Meßvorrichtung dann vorzugsweise eines der vorangehend beschriebenen Interferometersysteme.

Die Meßvorrichtung ist vorzugsweise ein Koordinatenmeßgerät. Es ist jedoch auch vorgesehen, daß die Meßvorrichtung ein Bearbeitungswerkzeug, wie etwa eine Fräsmaschine, Schleifmaschine oder dergleichen umfasst, wobei ein Abstand eines Bearbeitungswerkzeuges von dem Objekt gemessen wird.

Unter einem weiteren Aspekt sieht die Erfindung ein Verfahren zum Positionieren eines Meßkopfes mit einem vorbestimmten Arbeitsabstand von einem Objekt vor. Hierin wird ein Interferometersystem bereitgestellt, welches ein Abstandssignal bereitstellt, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit einem Abstand von dem Objekt angeordnet ist, der im wesentlichen gleich dem Arbeitsabstand ist, oder ob dies nicht der Fall ist.

Ferner wird ein Geschwindigkeitsmeßsystem bereitgestellt, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, welches eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert. Die Ermittlung des Abstandssignals erfolgt dann in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal.

Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt

Figur 1 eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Koordinatenmeßgeräts,

5 Figur 2 eine Ausführungsform eines Interferometersystems, welches in dem Koordinatenmeßgerät gemäß Figur 1 einsetzbar ist,

10 Figur 3 eine schematische Darstellung von Strahlengängen zur Erläuterung einer Funktion des Interferometersystems gemäß Figur 2,

15 Figur 4 eine Darstellung eines Detektionssignals, wie es im Betrieb des Interferometersystems gemäß Figur 2 auftritt,

Figur 5 eine Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,

20 Figur 6 eine weitere Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,

25 Figur 7 eine Darstellung eines Detektionssignals, wie es beim Betrieb des in Figur 6 gezeigten Interferometersystems auftritt,

Figur 8 eine weitere Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,

30 Figur 9 ein Detektionssignal, wie es beim Betrieb des Interferometersystems gemäß Figur 8 auftritt,

Figur 10 eine Detaildarstellung eines Meßkopfs des Interferometersystems gemäß Figur 8,

Figur 11 eine Variante des in Figur 10 gezeigten Meßkopfs für ein weiteres Interferometersystem,

5 Figur 12 eine weitere Variante des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems,

Figur 13 bis

Figur 16 zeigen weitere Varianten des in Figur 2 gezeigten Interferometersystems, und

10

Figur 17 bis

Figur 19 zeigen Details einer Auswerteschaltung.

15 Figur 1 zeigt eine Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Koordinatenmeßgeräts in perspektivischer Darstellung. Das Koordinatenmeßgerät umfaßt einen Sockel 3 mit vier Standfüßen 5. Der Sockel 3 trägt in seiner Mitte eine Werkstückhalterung 7, auf der ein zu vermessendes Werkstück 9 angebracht ist. Beidseits der Werkstückhalterung erstrecken sich an dem Sockel 3 Streben 11, 12 nach oben, welche zwei beidseits der Werkstückhalterung angeordnete und in einer horizontalen y-Richtung sich erstreckende Längsführungen 13, 14 tragen. In Horizontalrichtung senkrecht (in x-Richtung) zu den Längsführungen 13, 14 erstreckt sich eine Querführung 15, welche an den Längsführungen 13, 14 in y-Richtung verschiebbar gelagert ist. Hierzu ist an einem Ende der Querführung 15 ein Führungsprofil 17 vorgesehen, welches die Längsführung 14 von oben U-förmig umgreift und an welchem mehrere Luftkissen 19 vorgesehen sind, mit denen die Querführung 15 an der Längsführung 14 abgestützt ist. Mit ihrem anderen Ende ist die Querführung 15 mit einem weiteren Luftkissen 20 auf der Oberseite der Längsführung 17 abgestützt und damit auch gegenüber dieser in y-Richtung

verschiebbar gelagert. Durch einen motorischen Antrieb kann die Querführung 15 entlang der Längsführung 14 verschoben werden, wobei eine entsprechende Verschiebestellung über einen an dem Sockel 3 festgelegten Maßstab und einen zugehörigen an dem U-Profil 17 festgelegten Sensor 21 abgelesen wird. An der Querführung 15 ist über ein Führungsprofil 20 eine Vertikalführung 27 in x-Richtung verschiebbar gelagert, wobei die Verschiebestellung wiederum über einen an der Querführung 15 angebrachten Maßstab 29 und einen an dem Profil 25 festgemachten Sensor 31 abgelesen wird. An dem Führungsprofil 25 sind zwei weitere mit Abstand voneinander angeordnete Führungsprofile 30 vorgesehen, welche eine sich in senkrechte Richtung (z-Richtung) erstreckende Stange 32 über einen Motor 33 verschiebbar lagern. Die Verschiebestellung der Stange 37 in z-Richtung wird über einen an der Stange 32 vorgesehenen Sensor 34 erfaßt, der die Position an einem an der Vertikalführung 27 vorgesehenen Maßstab 35 abliest. An einem unteren Ende der Stange 31 ist ein Meßkopf 36 angebracht, welcher eine Meßstrahlung 37 derart emittiert, daß diese in einem Meßstrahlungsfokus 39 fokussiert ist, welcher mit einem Abstand in z-Richtung von dem Meßkopf 36 angeordnet ist.

Der Meßkopf 36 ist Teil eines nachfolgend beschriebenen Interferometersystems, welches dann ein charakteristisches Meßsignal abgibt, wenn in einem Bereich um den Fokus 39 eine Objektoberfläche angeordnet ist. Es ist somit möglich, das Koordinatenmeßgerät 1 derart zu betreiben, daß sich der Meßkopf dem Werkstück 9 solange annähert bis das Interferometersystem eine Anordnung der Werkstückoberfläche in einem Bereich um den Fokus 39 registriert. Durch Ablesen der Stellungen an den Maßstäben 23, 29 und 35 über das Auslesen der Sensoren 21, 31 bzw. 34 ist es somit möglich, die Koordinaten des Ortes der Werkstückoberfläche zu bestimmen, welche

im Bereich des Fokus 39 des Meßkopfs 36 liegt. Dieser Vorgang kann systematisch für eine Vielzahl von Orten der Werkstückoberfläche wiederholt werden, um dessen Geometrie zu vermessen.

5

Dabei wird aus den Einstellungen der Längs- und Querführung ein (x_0, y_0) - Koordinatendupel erhalten. Bei Annäherung des Fokus 39 an das Werkstück 9 innerhalb der Kohärenzlänge beginnt das Ausgabesignal des Detektors zu oszillieren (siehe 10 auch Figur 4). Der Oszillationsschub erreicht ein Maximum an einer Stelle z_0 , wenn der Fokus 39 gerade auf der Oberfläche des Werkstücks 9 angeordnet ist. Der Wert z_0 wird zusammen mit dem Koordinatendupel als (x_0, y_0, z_0) - Tripel registriert. Aus einer Vielzahl solcher Messungen wird also 15 eine komplette Topographie nämlich die Gesamtheit der (x, y, z) - Tripel, der Werkstückoberfläche erhalten. Zur Bereitstellung der Messergebnisse umfasst die Messvorrichtung eine Ausgabeschnittstelle für ein Positionssignal, das Oberflächenkoordinaten des Objektivs relativ zur Plattform 20 repräsentiert.

Ein schematischer Aufbau eines Interferometersystems 41, von dem einige Komponenten in dem Meßkopf 36 angeordnet sind, ist in Figur 2 gezeigt.

25

Das Interferometersystem 41 umfaßt eine Superlumineszenzdiode als Weißlichtquelle, das heißt Quelle einer Strahlung mit kurzer Kohärenzlänge, um Weißlichtinterferometrie mit dieser Strahlung durchzuführen. Diese Art von Interferometrie wird ebenfalls als OCT ("Optical Coherence Tomography") bezeichnet.

Beispielsweise ist als Quelle 43 eine Superlumineszenzdiode einsetzbar, wie sie unter der Produktbezeichnung SLD-38-MP, von der Firma Superlum Ltd. aus Moskau bezogen werden kann.

5 Die von der Quelle 43 bereitgestellte Strahlung 45 weist eine Wellenlänge $\lambda_1 = 800 \text{ nm}$ und eine Kohärenzlänge $l_c = 15 \mu\text{m}$ auf. Die Strahlung 45 wird mittels einer Kollimationsoptik 47 zu einem parallelen Strahl 48 kollimiert, der zunächst einen Strahlteiler 49 geradlinig durchsetzt
10 und sodann in einen Glaskörper 51 über eine erste teilreflektierende Grenzfläche 52 desselben eintritt. Aus dem Glaskörper 51 tritt die Strahlung 48 sodann durch eine teilreflektierende Grenzfläche 53 wieder aus, welche der Grenzfläche 52 diametral gegenüberliegt und parallel zu
15 dieser orientiert ist. Ferner sind die beiden Grenzflächen 52, 53 orthogonal zur Richtung des Strahls 48 orientiert. Ein Abstand zwischen den beiden Grenzflächen 52 und 53 beträgt l_1 .

20 Nach dem Austritt aus dem Glaskörper 51 über die Grenzfläche 53 wird der Strahl 48 von einer weiteren Fokussieroptik 54 derart fokussiert, daß die Strahlung in dem Fokuspunkt 39 derart fokussiert ist, daß der Fokuspunkt 39 mit einem Abstand l_2 von der Grenzfläche 53 angeordnet ist.

25

In Figur 2 ist ferner das Objekt 9 gezeigt, welches mit einem solchen Abstand von dem Meßkopf 36 angeordnet ist, daß dieser Abstand dem vorbestimmten Arbeitsabstand des Meßkopfes 36 entspricht. Der Arbeitsabstand kann beispielsweise als Abstand zwischen der Forderfläche der Fokussierlinse 54 und dem Fokuspunkt 39 gemessen werden. Bei Anordnung des Objekts 9 mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf 36 ist die Objektoberfläche 55, gesehen in z-Richtung, nahe dem Fokuspunkt 39 angeordnet.

Die Objektoberfläche 55 wirft die auf diese gerichtete Meßstrahlung 48 wenigstens teilweise zurück, so daß die zurückgeworfene Detektionsstrahlung wieder in die Fokussieroptik 54 eintritt, von dieser zu einem parallelen Strahlbündel geformt wird, welches den Glaskörper 41 durchsetzt und sodann von dem Strahlteiler 49 als Detektionsstrahl 57 reflektiert wird, welcher mittels einer Fokussieroptik 59 auf einen Strahlungsdetektor 61 fokussiert wird.

10

Strahlengänge, wie sie in dem Interferometersystem 41 auftreten können, sind symbolisch in Figur 3 dargestellt:

Bei einem Strahlengang I tritt Strahlung der Quelle 43 von oben über die Grenzfläche 52 in den Glaskörper 51 ein, durchsetzt diesen, tritt aus diesem durch die Grenzfläche 53 aus, wird von der Objektoberfläche 55 reflektiert, tritt über die Grenzfläche 53 in den Glaskörper 51 ein, durchsetzt diesen erneut und tritt aus diesem über die Grenzfläche 52 wieder aus.

In einem Strahlengang II tritt Strahlung der Quelle 43 über die Grenzfläche 52 in den Glaskörper 51 ein, wird an dessen Grenzfläche 53 reflektiert, wird daraufhin an der Grenzfläche 52 reflektiert, wird daraufhin an der Grenzfläche 53 erneut reflektiert und tritt über die Grenzfläche 52 aus dem Glaskörper 51 aus.

Wenn die beiden Strahlengänge I und II gleiche optische Weglängen bereitstellen, registriert der Detektor 61 eine interferente Signalerhöhung. Die optischen Weglängen der Strahlengänge I und II sind dann gleich, wenn die optische Weglänge der Strecke l_1 , das heißt der Abstand der beiden Grenzflächen 52, 53 voneinander, gleich der optischen Weg-

länge der Strecke l_2 , das heißt dem Abstand der Grenzfläche 53 von der Oberfläche 55, ist.

Die optische Weglänge auf der Strecke l_2 ist im wesentlichen
5 gleich l_2 , da der Strahlengang, abgesehen von der Fokussier-
optik 54, durch Luft läuft. Die optische Weglänge auf der
Strecke l_1 ist im wesentlichen gleich $n \times l_1$, wobei n der
Brechungsindex des Mediums des Glaskörpers 51 ist.

10 Ein in Figur 3 gezeigter Strahlengang III unterscheidet
sich von dem Strahlengang I dadurch, daß eine zusätzliche
Hin- und Herreflexion zwischen den Grenzflächen 52 und 53
auftritt. Ebenso unterscheidet sich ein Strahlengang IV von
dem Strahlengang II durch eine zusätzliche Hin- und Her-
15 reflexion an den Grenzflächen 52, 53. Auch die Strahlen-
gänge III und IV überlagern sich interferent intensitäts-
erhöhend, wenn, abgesehen von der Weglänge der Fokussier-
optik 54, in etwa gilt:

$$20 \quad n \cdot l_1 = l_2$$

Aufgrund der mehrmaligen Reflexion an den Grenzflächen 52,
53 tragen die Strahlengänge III und IV, im Vergleich zu den
Strahlengängen I und II, wesentlich weniger zu dem von dem
25 Detektor 61 detektierten Signal bei. Es gibt neben den in
Figur 3 gezeigten Strahlengängen I bis IV noch weitere
Strahlengänge, welche eine noch höhere Anzahl von Reflexio-
nen an den Grenzflächen 52, 53 aufweisen, deren relativer
Beitrag zu der Gesamtintensität an dem Detektor 61 jedoch
30 noch geringer ist.

In Figur 4 ist als Kurve 65 ein Verlauf eines Intensitäts-
signals I des Detektors 61 dargestellt, wie er bei Annähe-
rung des Meßkopfes 36 an die Objektoberfläche 55 auftritt.

Für große z-Werte ist der Abstand zwischen Meßkopf 36 und Objektoberfläche 55 größer als der Arbeitsabstand z_0 des Meßkopfes. Es treten bei derart großen Abständen keine Interferenzerscheinungen an dem Detektor 61 auf, und eine registrierte Strahlungsintensität I ist zu 1,0 normiert.
5 Mit zunehmender Annäherung des Meßkopfes 36 an die Objektoberfläche 55, das heißt abnehmenden z-Werten, treten dann im Abstand z_1 abwechselnd interferente Signalerhöhungen bzw. Signalauslöschungen auf, welche in Figur 4 als Maxima 67 bzw. Minima 68 der Kurve 65 eingetragen sind. Das höchste Maximum 67 tritt dann auf, wenn die Objektoberfläche 55 exakt mit dem Arbeitsabstand z_0 von dem Meßkopf angeordnet ist. Dies ist dann der Fall, wenn die optische Weglänge der Strecke l_1 genau gleich der optischen Weglänge der Strecke 10
15 l_2 ist.

Wird der Meßkopf 36 über den vorbestimmten Arbeitsabstand hinaus weiter an die Objektoberfläche 55 angenähert, so treten zunächst noch weitere Maxima 67 und Minima 68 der nachgewiesenen Intensität I auf, welche jedoch zunehmend abnehmen, bis schließlich keine Interferenzerscheinungen mehr auftreten und das Meßsignal I wieder den auf eins normierten Wert annimmt.
20

Erfolgt die Annäherung des Meßkopfes 36 an die Objektoberfläche 55 mit einer konstanten Geschwindigkeit, so treten die um z_1 beabstandeten Maxima 67 bzw. Minima 68 in dem Meßsignal des Detektors 61 mit einer konstanten Frequenz f_1 auf. Eine Auswerteschaltung 71 des Interferometersystems 41 umfaßt einen auf die Frequenz f_1 abgestimmten Bandpaßfilter 73, welcher Signalkomponenten des von dem Detektor 61 bereitgestellten Signals an eine Demodulationsschaltung 74 passieren läßt, welche in einem Frequenzband um die Frequenz f_1 liegen. Die Demodulationsschaltung 74 generiert
25
30

aus dieser Signalkomponente ein Ausgabesignal, wie es in Figur 4 als gestrichelte Linie 75 eingetragen ist. Diese hat die Form einer bezüglich dem Arbeitsabstand z_0 zentrierten Glockenkurve mit einer Halbwertsbreite, welche 5 in etwa der Kohärenzlänge l_c der von der Quelle 43 bereitgestellten Strahlung entspricht.

Nachfolgend werden Varianten der in den Figuren 1 bis 4 erläuterten Ausführungsformen beschrieben. Hierbei sind Komponenten, die hinsichtlich ihres Aufbaus oder ihrer Funktion Komponenten der Figuren 1 bis 4 entsprechen, mit den gleichen Bezugsziffern, zur Unterscheidung jedoch mit einem zusätzlichen Buchstaben versehen.

15 Ein in Figur 5 dargestelltes Interferometersystem 41a weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das in Figur 2 gezeigte Interferometersystem. Allerdings werden bei dem Interferometersystem 41a Glasfasern zur Bereitstellung der Strahlen 20 gänge eingesetzt. Von einer Weißlichtquelle 43a bereitgestellte Strahlung einer kurzen Kohärenzlänge wird in eine Glasfaser 77 eingekoppelt, durch einen Strahlteiler 79 geleitet und in der Glasfaser 77 weitergeführt, bis sie an einem Ende 80 derselben austritt. Nach dem Austritt aus der Glasfaser 77 wird die Strahlung mittels einer Fokussieroptik 47a zu einem parallelen Strahl 48a geformt, welcher 25 nacheinander zwei planparallele Glasplatten 81 und 82 durchsetzt und schließlich durch eine Fokussieroptik 54a in einem Fokuspunkt 39a fokussiert wird. Jeweils eine der beiden Oberflächen der Glasplatten 81 und 82 ist teilweise 30 verspiegelt, so daß an den Glasplatten 81, 82 Grenzflächen 52a und 53a mit Abstand voneinander angeordnet bereitgestellt sind, um hierzwischen eine vorbestimmte optische Weglänge bereitzustellen (vergleiche Strahlengänge II, IV gemäß Figur 3).

Von einem in der Nähe des Fokuspunktes 39a angeordneten Objekt zurückgeworfene Strahlung wird von der Fokussieroptik 54a wiederum zu einem parallelen Strahl geformt, welcher 5 nacheinander die Glasplatten 82 und 81 und die Fokussieroptik 47a durchsetzt, von letzterer fokussiert und in das Ende 80 der Glasfaser 77 eingekoppelt wird. Diese zurückgeworfene Strahlung wird dann von der Faser 77 zu dem Strahlteiler 79 geführt und geht in diesem in eine Glasfaser 83 10 über, um schließlich von dem Detektor 61a nachgewiesen zu werden. Eine Auswertung der Signale des Detektors 61a erfolgt, ähnlich wie dies vorangehend mit den Figuren 2, 3 und 4 beschrieben wurde, über einen Bandpaßfilter 73a und eine Demodulationsschaltung 74a.

15

Bei dem Interferometersystem 41a ist die Glasplatte 82 in eine Richtung transversal zur Orientierung der teilreflektierenden Fläche 53a durch einen Antrieb hin und her verlagerbar, wie dies in Figur 5 durch einen Pfeil 85 symbolisiert ist. Der Antrieb erfolgt über einen in Figur 5 nicht im Detail dargestellten Aktuator, welcher einen elektromagnetisch arbeitenden Aktuator oder einen piezoelektrischen Aktuator oder dergleichen umfassen kann. Aufgrund der Verlagerung der Grenzfläche 53a sind somit die Strecken l_1 20 und l_2 änderbar. Damit kann, wenn eine Objektoberfläche in etwa mit dem Arbeitsabstand von dem Meßkopf angeordnet ist, die Kurve 65 gemäß Figur 4 wiederholt durchfahren werden, um die Lage des höchsten Maximums 67 und damit die genaue 25 Anordnung der Objektoberfläche in Bezug auf den Meßkopf wiederholt zu ermitteln. Die Frequenz f_1 , mit der die Maxima bzw. Minima nacheinander auftreten, ist dann im wesentlichen bestimmt durch die Verlagerungsgeschwindigkeit der Grenzfläche 53a in Strahlrichtung, und der Bandpaßfilter 30 73a ist vorteilhafterweise auf die Frequenz f_1 derart einge-

stellt, daß er Frequenzen in einem Bereich um diese Frequenz f_1 zu der Demodulationsschaltung 74a passieren läßt.

Ein in Figur 6 schematisch dargestelltes Interferometer-
5 system 41b weist einen ähnlichen Aufbau auf, wie das in Fi-
gur 2 gezeigte Interferometersystem:

Von einer Weißlichtquelle 43b bereitgestellte Strahlung 45b
einer kurzen Kohärenzlänge wird durch eine Fokussieroptik
10 47b zu einem Beleuchtungsstrahl 48b kollimiert, welcher ei-
nen Strahlteiler 49b durchläuft und weiterhin zwei mit ei-
nem Abstand l_1 voneinander angeordnete Grenzflächen 52b und
53b durchsetzt und weiter von einer Fokussieroptik 54b in
einem mit einem Abstand l_2 von der Grenzfläche 53b angeord-
15 neten Fokuspunkt 39b fokussiert wird. Die Grenzfläche 52b
ist durch eine teilweise verspiegelte Oberfläche des
Strahlteilers 49b bereitgestellt, und die Grenzfläche 53b
ist durch eine teilweise verspiegelte Planfläche der Fokus-
sieroptik 54b bereitgestellt.

20 Von einer in einem Bereich um den Fokuspunkt 39b angeord-
neten Oberfläche 55b eines Objekts 9b reflektierte Strah-
lung wird von der Fokussieroptik 54b wiederum fokussiert
und von dem Strahlteiler 49b als Detektionsstrahl 57b aus-
25 gekoppelt und von einer Fokussieroptik 59b auf einen Detek-
tor 51b fokussiert. Das von dem Detektor 51b bereitge-
stellte Meßsignal durchläuft einen Bandpaßfilter 73b und
eine Demodulationsschaltung 74b.

30 In Ergänzung zu dem in Figur 2 gezeigten Interferometer-
system umfaßt das Interferometersystem 41b eine Laserlicht-
quelle 91 zur Erzeugung einer Strahlung 92 einer großen Ko-
härenzlänge, welche bei Ausführung der Quelle 91 als grüner
Laser beispielsweise über 100 m betragen kann. Zwischen der

Fokussieroptik 47b und dem Strahlteiler 49b ist in dem Strahl 48b ein weiterer Strahlteiler 94 angeordnet, welcher den Strahl 48 teilweise passieren lässt und welcher den passierenden Teil des Strahls 48 der Strahlung 92 nach deren 5 Kollimierung mittels einer Kollimationsoptik 95 überlagert. Damit wird auch die Strahlung 92 auf das Objekt 9b gerichtet, und ein von der Objektoberfläche 55 zurückgeworfener Teil der Strahlung 92 wird ebenfalls durch die Kollimationsoptik 54b zu einem parallelen Strahl geformt, welcher 10 durch den Strahlteiler 49b gemeinsam mit dem Strahl 57b reflektiert wird. Zwischen dem Strahlteiler 49b und der Kollimationsoptik 59b ist ein weiterer Strahlteiler 97 angeordnet, welcher die von der Objektoberfläche 55b zurückgeworfene Strahlung der Lichtquelle 91 reflektiert und nach 15 Fokussierung durch eine Kollimationsoptik 99 auf einen Detektor 101 fokussiert.

Ein Verlauf einer Intensität I des von dem Detektor 101 registrierten Detektionssignals in Abhängigkeit von dem Abstand z der Objektoberfläche 55b von dem Meßkopf ist als 20 Kurve 103 in Figur 7 schematisch dargestellt.

Aufgrund der großen Kohärenzlänge der von der Quelle 91 bereitgestellten Strahlung 92 treten über einen großen Bereich von Abständen (z-Werten) der Objektoberfläche 55b von dem Meßkopf abwechselnd Intensitätsmaxima und -minima im Abstand z_2 auf. Bei einer gleichförmigen Annäherung des Meßkopfes an die Objektoberfläche 55b treten die Maxima bzw. die Minima mit einer konstanten Frequenz f_2 auf. Diese Frequenz wird aus dem von dem Detektor 101 bereitgestellten Signal mittels einer Frequenzanalyseschaltung 103 ermittelt. Die Frequenz f_2 repräsentiert damit den Absolutwert der Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt 9b. Die von der Schaltung 103 ermittelte Frequenz f_2 25 30

wird an den Bandpaßfilter 73b ausgegeben, welcher das Frequenzband der ihn passierenden Signalkomponenten des Detektors 61b in Abhängigkeit von der Frequenz f_2 einstellt. Die Einstellung erfolgt hierbei gemäß der Formel:

5

$$f_1 = f_2 \cdot \frac{\lambda_2}{\lambda_1},$$

wobei

10 f_1 eine Mittenfrequenz des Bandpaßfilters 73b,

λ_1 eine Frequenz der Quelle 43b der Strahlung 45b mit kurzer Kohärenzlänge und

15 λ_2 eine Wellenlänge der von der Quelle 91 bereitgestellten Strahlung 92 mit großer Kohärenzlänge

ist.

20 Somit ist es möglich, eine zunächst unbekannte Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt unabhängig zu messen und dann den Bandpaßfilter 73b zur Analyse des Weißlicht-Interferenzsignals in Abhängigkeit von dieser Geschwindigkeit einzustellen.

25

Analog zur vorbeschriebenen Ausführungsform kann auch ein faseroptischer Aufbau eingesetzt werden (Figur 13), bei dem die Lichtstrahlen zwischen Lichtquellen 43f, 91f und quellenseitiger Grenzfläche 52f einerseits, sowie zwischen 30 quellenseitiger Grenzfläche 52f und Detektoren 61f, 101f andererseits in Lichtleitfasern 77f, 77f1, 77f2, 83f geführt sind. Zwischen dem Faserende 80f und dem Objekt 39f entspricht diese Anordnung der in Figur 5 dargestellten.

Die Strahlteiler 79f, 79f', 97f sind in dieser Ausführungsform durch Faserkoppler gebildet. Wird der Grenzflächenabstand l_1 variiert, insbesondere periodisch, und besonders bevorzugt sinusoidal, so erzeugt das von der langkohärenten 5 Lichtquelle 91f emittierte Licht an dem hierfür vorgesehnen Detektor 101f in einem weiten Durchstimbereich durch die Mehrfachreflexion ein Interferenzsignal, dessen Frequenz einerseits von der Frequenz der verwendeten Lichtquelle 91f, andererseits von der momentanen Verlagerungs- 10 geschwindigkeit abhängt. Mit einer geeigneten Schaltung 103f kann diese Frequenz des Interferenzsignals verwendet werden, um die Auswerteschaltung 147f für den Detektionszweig des kurzkohärenten Signals jeweils auf die momentane Verlagerungsgeschwindigkeit einzustellen.

15 Eine solche Schaltung 103 verwendet eine phasenunabhängige Synchrongleichrichtung (Figuren 17, 18 und 19). Hierbei wird zunächst das Signal des Detektors 101 für die langkohärente Strahlung, deren Haupt-Wellenlänge ja ebenso wie 20 die der kurzkohärenten Strahlung bekannt ist, im Verhältnis dieser Wellenlängen in einem ersten Teiler T_{n1} ganzzahlig geteilt. Sind z.B. die Wellenlängen 820 nm (kurzkohärent) und 670 nm (langkohärent), so ist das Verhältnis etwa 122:100, der erste Teilungsfaktor beträgt also 122. Der 25 Ausgang eines spannungsgesteuerten Oszillators VCO wird entsprechend in einem zweiten Teiler T_{n2} durch 100 geteilt, und beide geteilten Signale werden einem Phasendetektor ϕ zugeführt (Figur 17). Dessen Ausgangssignal dient dann dazu, über einen Regler R, der aus diesem Ausgangssignal 30 ein Regelsignal für den Oszillator VCO bereitstellt, die Frequenz des Oszillators VCO auf den gewünschten Wert zu regeln. Das so geregelte Oszillator-Signal dient der Auswerteschaltung 147 der Detektoranordnung für das kurzkohärente Signal als Referenzfrequenz. Hierbei wird vorzugsweise 35 in Quadratur gemessen (Figur 18), d.h. das Referenzsignal wird in zwei mittels eines Phasenschiebers $\Pi/2$

gegeneinander um 90° phasenverschobenen Zweigen in den Multiplizierern X1 bzw. X2 jeweils mit dem Messsignal multipliziert und durch einen Tiefpass TP1 bzw. TP2 geführt, und die beiden Zweige danach im Sinne eines Root Mean Square (Wurzel aus der Quadratsumme, "Vektormessung") in einem Kombinierer VM wieder kombiniert. Dadurch ist das Messergebnis von der jeweiligen Phasenlage, und von der momentanen Verlagerungsgeschwindigkeit unabhängig, sofern letztere nicht gerade Null ist. Dies wäre an Umkehrpunkten einer sinusoidalen Relativbewegung der Grenzflächen 52, 53 der Fall. Auch bei einer solchen sinusoidalen Verlagerung könnte aber fast der gesamte Verlagerungsbereich zur Messung genutzt werden.

In Figur 19 ist die Schaltung des Kombinieres VM erläutert: Das Signal aus dem Tiefpass TP1 wird an beide Multiplikationseingänge des Multiplizierers/Dividierers M/D gelegt, das Signal aus dem Tiefpass TP2 mit dem Ausgangssignal des Kombinierers VM addiert und an den Divisionseingang des Multiplizierers/Dividierers M/D gelegt. Dessen Ausgangssignal wird mit dem Signal aus dem Tiefpass TP2 addiert und bildet so das Ausgangssignal des Kombinierers VM.

Alternativ kann die momentane Verlagerungsgeschwindigkeit auch direkt an der Verlagerungsanordnung oder an dem Aktuator zur Betätigung derselben gemessen oder anderweitig bestimmt werden oder auch von einer Treiberschaltung für den Aktuator abgegriffen werden. In dieser Ausführungsform sind die langkohärente Lichtquelle 91f, der zugehörige Detektor 101f und der Strahlteiler 97f im Detektionszweig sowie der Strahlkombinierer 79f' entbehrlich.

Die teilreflektierenden Grenzflächen 52, 53 können in einer solchen faseroptischen Bauweise durch in die Faser 77 eingebrachte Bragg-Gitter 105g1, 105g2 gebildet sein (Figur 14). Zur Erzeugung solcher Bragg-Gitter wird die Umhüllung

der Faser entfernt, sodann wird die Faser mit einer UV-Quelle (ca. 240 nm) durch eine Phasenmaske belichtet, und die durch den photosensitiven Effekt gebildete periodische Brechungsindexvariation wird durch Erhitzen stabilisiert.

5 Die Periodizität der Indexvariation wird dabei der zu reflektierenden Wellenlänge gemäß gewählt, die Länge des belichteten Bereichs der gewünschten Bandbreite (invers) entsprechend. Schliesslich wird das entfernte Mantelstück wiederhergestellt.

10

Wenn das Faserende als Gradientenindex-(GRIN-)Linse 109h ausgebildet ist, kann die Oberfläche 111h der GRIN-Linse teilverspiegelt werden (Figur 15) und so als Grenzfläche dienen; die zweite Grenzfläche wird wie vorbeschrieben 15 durch ein Faser-Bragg-Gitter 105h gebildet.

In den letzten beiden Ausführungsformen erfolgt die Verlagerung der Grenzflächen 105g₁, 105g₂ bzw. 105h, 111h zueinander durch Piezo-Faserstretcher 107g bzw. 107h. Hierbei wird die Faser 77g bzw. 77h mehrfach um zwei halbzylinderförmige, beabstandete Führungen 207g₁, 207g₂, 207h₁, 207h₂ gewickelt, deren Abstand dann durch einen piezoelektrischen Aktuator 307g, 307h verändert wird. Dadurch ändert sich auch die Faserlänge. Die Ansteuerung 407g, 407h des Piezo-Aktuators 307g, 307h erfolgt periodisch. Die Steuerspannung des Piezo-Aktuators ist dabei ein Maß für die Faserlänge, also ist die zeitliche Änderung der Steuerspannung ein Maß für die Verlagerungsgeschwindigkeit, und damit für die Frequenz des Detektorsignals. Folglich muss die Auswerteschaltung 147 der Detektoranordnung entsprechend der zeitlichen Änderung der Steuerspannung des Piezo-Aktuators 107g, 107h eingestellt werden; die zeitliche Änderung dieser Spannung ist bei periodischer Ansteuerung proportional zur Steuersignal-Amplitude und zur Steuersignal-Frequenz. Da in diesen Ausführungsformen keine großen Massen bewegt werden, und Trägheitseffekte daher keine große Rolle spielen, kann

die Ansteuerung 407g, 407h des Piezo-Aktuators 307g, 307h statt sinusoidal auch sägezahn-förmig oder dreieckförmig erfolgen. Besonders bevorzugt ist eine Ansteuerung 407g, 407h, die die aus Eichmessungen zugängliche Antwortfunktion 5 des Piezo-Aktuators 307g, 307h so kompensiert, dass die tatsächliche Verlagerungsgeschwindigkeit der teilreflektierenden Grenzflächen 105g1, 105g2 bzw. 105h, 111h relativ zueinander über einen großen Durchstimbereich konstant wird.

10

Ist diese tatsächliche Verlagerungsgeschwindigkeit zudem bekannt, kann der objektseitige Zweig der vorbeschriebenen Ausführungsform mit Faser-Bragg-Gitter 105, teilverspiegelter GRIN-Linse 109 und Piezo-Faserstrecke 107 in der in 15 Figur 5 dargestellten Ausführungsform mit nur einer, kurzkohärenten Lichtquelle 43a eingesetzt werden und dort den nicht-faseroptischen Teil von der Lichtleitfaser 77 bis einschliesslich der Fokussieroptik 54a ersetzen. Diese Kombination ist in Figur 16 dargestellt: Die optische Weg- 20 länge l1 zwischen Faser-Bragg-Gitter 105i und teilverspiegelter Oberfläche 111i der GRIN-Linse 109i wird durch den Piezostrecker 107i mit Piezo-Aktuator 307i durch die Ansteuerung 407i periodisch linear variiert, und der einstellbare Bandpass-Filter 73i auf die resultierende Interferenzsignalfrequenz eingestellt.

Ein in Figur 8 schematisch dargestelltes Interferometer- 30 system 41c weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das Interferometersystem gemäß Figur 2.

35

Allerdings sind hier zwei Quellen 43c₁ und 43c₂ vorgesehen, welche jeweils Meßstrahlung 45c₁ bzw. 45c₂ kurzer Kohärenz- länge bereitstellen. Mittels Spiegeln 111 und 113 und einen Strahlteiler 115 werden die Meßstrahlungen 45c₁ und 45c₂ nach deren Kollimierung mittels Kollimationsoptiken 47c₁

bzw. $47c_2$ zu einem gemeinsamen Strahl $48c$ überlagert. Dieser durchsetzt einen Strahlteiler $49c$ und einen Glaskörper $51c$ mit einander gegenüberliegenden Grenzflächen $52c$ und $53c$ und wird sodann durch eine Kollimationsoptik $54c$ kolliniert. Da sich die Wellenlängen λ_1 und λ_2 der von den Quellen $43c_1$ bzw. $43c_2$ bereitgestellten Strahlung unterscheiden, erfolgt die Fokussierung durch die Fokussieroptik $54c$ in einem Fokuspunkt $39c_1$ für die Strahlung der Wellenlänge λ_1 und in einem Fokuspunkt $39c_2$ für die Strahlung der Wellenlänge λ_2 . Die Fokuspunkte $39c_1$ und $39c_2$ sind in z-Richtung mit einem Abstand voneinander angeordnet.

Von einer Objektoberfläche, die in einem Bereich um die Fokuspunkte $39c_1$ und $39c_2$ angeordnet ist, zurückgeworfene Strahlung wird wiederum durch die Fokussieroptik $54c$ kolliniert und nach Durchlaufen des Glaskörpers $51c$ von dem Strahlteiler $49c$ umgelenkt, aus welchem sie als Strahl $57c$ austritt. Ein Strahlteiler 117 teilt diesen Strahl in Teilstrahlen $57c_1$ und $57c_2$, welche durch Kollimationsoptiken $59c_1$ bzw. $59c_2$ auf Detektoren $61c_1$ bzw. $61c_2$ fokussiert werden. Der Detektor $61c_1$ ist zur Detektion der von dem Objekt zurückgeworfenen Strahlung der Wellenlänge λ_1 ausgelegt, genauso wie ein Bandpaßfilter $73c_1$ für von dem Detektor $61c_1$ bereitgestellte Meßsignale ausgelegt ist. Entsprechend ist der Detektor $61c_2$ für die Detektion der Strahlung mit der Wellenlänge λ_2 ausgelegt, genauso wie der nachfolgende Bandpaßfilter $73c_2$ für die von dem Detektor $61c_2$ bereitgestellten Signale. Dem Bandpaßfilter $73c_1$ bzw. $73c_2$ sind wiederum die Modulationsschaltungen $74c_1$ und $74c_2$ nachgeschaltet. Die Demodulationsschaltung $74c_1$ registriert ein Maximum einer Meßkurve $75c_1$ dann, wenn die Objektoberfläche in einem Bereich um den Fokuspunkt $39c_1$ für die Wellenlänge λ_1 angeordnet ist, und die Demodulationsschaltung $74c_2$ registriert ein Maximum ihrer Meßkurve $75c_2$ dann, wenn die Objektoberfläche

in einem Bereich nahe dem Fokuspunkt 39c₂ für die Wellenlänge λ_2 angeordnet ist. Die von den Demodulationsschaltungen 74c₁, 74c₂ ausgegebenen Meßkurven 75c₁ bzw. 75c₂ sind in Abhängigkeit von dem Ort der Objektoberfläche in z-Richtung 5 in Figur 9 als Graphen schematisch dargestellt.

Durch Auswerten einer zeitlichen Reihenfolge, mit der die Maxima der Kurven 75c₁ und 75c₂ auftreten, ist es somit möglich, eine Richtung einer Relativgeschwindigkeit zwischen 10 dem Meßkopf und dem Objekt zu ermitteln.

Bei dem Interferometersystem 41c ist es ebenfalls möglich, der Meßstrahlung eine Strahlung großer Kohärenzlänge zu überlagern, wie dies anhand der Figuren 6 und 7 erläutert 15 wurde.

Es ist dann weiter möglich, die Bandpaßfilter 73c₁ und 73c₂ hinsichtlich ihres Frequenzbandes variabel auszulegen, wobei diese das Frequenzband dann immer so einstellen können, 20 daß dieses optimal auf einen Absolutwert der Relativgeschwindigkeit zwischen Meßkopf und Objekt eingestellt ist.

In Figur 10 sind der Glaskörper 51c und die Fokussieroptik 54c des Interferometersystems 41c im Detail dargestellt.

25 Ein Durchmesser des Strahls 48c beträgt 4 mm. Der Glaskörper 51c mit seinen teilreflektierenden Endflächen 52c und 53c weist eine Länge $l_1 = 60,9973$ mm auf. Der Glaskörper 51c ist aus einem Glas der Type SF6 erhältlich von der Firma 30 SCHOTT, gefertigt.

Die Fokussieroptik 54c ist als ein Kittglied aus zwei Linsengläsern 122 und 124 gefertigt, wobei die Linse 122 aus einem Glas des Typs BK7, erhältlich von der Firma SCHOTT,

gefertigt ist, und die Linse 124 aus einem Glas des Typs SF6.

Eine dem Glaskörper 51c zuweisende Oberfläche 121 der Linse 122 weist einen Krümmungsradius von $r_1 = 31,25$ mm auf und ist mit ihrem Scheitelpunkt mit einem Abstand von $d_1 = 2,24$ mm in Luft von der Grenzfläche 53c des Glaskörpers 51c angeordnet. Eine den Linsen 122 und 124 gemeinsame Grenzfläche 123 weist einen Krümmungsradius $r_2 = -42,313$ mm auf und ist mit ihrem Scheitelpunkt mit einem Abstand $d_2 = 3,00$ mm von dem Scheitelpunkt der Fläche 121 angeordnet. Eine von dem Glaskörper 51c wegweisende Oberfläche 125 der Linse 124 ist als Planfläche ausgebildet und weist von dem Scheitelpunkt der Fläche 123 einen Abstand von $d_3 = 3,00$ mm auf.

Für Licht der Wellenlänge $\lambda_1 = 630$ nm beträgt eine Fokuslänge f_1 der Fokussieroptik 54c 95 mm, und für Licht einer Wellenlänge $\lambda_2 = 850$ nm beträgt die Fokuslänge der Fokussieroptik 54c 94 mm. Damit sind die Fokuspunkte 39c₁ und 39c₂ mit einem Abstand von einem Millimeter voneinander angeordnet.

Bei dem anhand der Figuren 8, 9 und 10 erläuterten Interferometersystem, welches zwei Lichtquellen mit Wellenlängen $\lambda_1 = 630$ nm und $\lambda_2 = 850$ nm aufweist, sind somit zwei Fokuspunkte der Meßstrahlung bereitgestellt, welche einen Abstand von einem Millimeter in Strahlrichtung voneinander aufweisen.

30

In Figur 11 sind ein Glaskörper 51d und eine Fokussieroptik 54d für ein Interferometersystem gezeigt, welches drei Weißlichtquellen mit Wellenlängen $\lambda_1 = 630$ nm, $\lambda_2 = 850$ nm und $\lambda_3 = 1300$ nm aufweist.

Die Kombination aus Glaskörper 51d und Fokussieroptik 54d gemäß Figur 11 ist einsetzbar in einem Interferometer-
5 system, welches dem Interferometersystem gemäß Figur 8 ähn-
lich ist, welches allerdings eine dritte Lichtquelle mit
 $\lambda_3 = 1300$ nm aufweist, deren Strahlung dem Licht der beiden
anderen Lichtquellen überlagert ist.

Der Glasblock 51d ist aus zwei aneinander gekitteten Teil-
10 blöcken 131 und 132 zusammengefügt, von denen der Teil-
block 131 eine teilreflektierende Grenzfläche 52d des In-
terferometersystems bereitstellt und der andere Teilblock
132 eine der Grenzfläche 52d gegenüberliegende und dem Ob-
jekt zuweisende Grenzfläche 53d bereitstellt. Der Teilblock
15 131 ist aus einem Glasmaterial des Typs Lasf18a, erhältlich
von der Firma SCHOTT, gefertigt und weist eine Länge von
 $d_1 = 24,3$ mm auf, und der andere Teilblock 132 ist aus einem
Glasmaterial des Typs Lak31, erhältlich von der Firma
SCHOTT, gefertigt und weist eine Länge von $d_2 = 75,13$ mm
20 auf.

Die Fokussieroptik 54d ist als ein Kittglied aus zwei Lin-
sen 122d und 124d zusammengesetzt. Eine dem Glasblock 51d
zuweisende Oberfläche 121d der Linse 122d weist einen Krüm-
25 mungsradius $R_1 = -14,9$ mm auf und ist mit ihrem Scheitel mit
einem Abstand von $d_3 = 31,83$ mm von der Grenzfläche 53d des
Teilblocks 132 angeordnet. Eine den Linsen 122d und 124d
gemeinsame Grenzfläche 123d weist einen Krümmungsradius
30 $R_2 = -7,23$ mm auf und ist mit ihrem Scheitel mit einem Ab-
stand $d_4 = 5,0$ mm von dem Scheitel der Fläche 121 angeord-
net, wobei die Linse 122 aus einem Material des Typs BAF,
erhältlich von SCHOTT, gefertigt ist. Eine von dem Glas-
block 51d wegweisende Oberfläche 125d der Linse 124 weist
einen Krümmungsradius $R_3 = -11,87$ mm auf und ist mit ihrem

Scheitel mit einem Abstand $d_5 = 5,0$ mm von dem Scheitel der Fläche 123d angeordnet, wobei die Linse 124d aus einem Material des Typs SF64a, erhältlich von SCHOTT, gefertigt.

5 Die Fokussieroptik 54d stellt für die Wellenlänge $\lambda_1 = 630$ nm eine Fokuslänge $f_1 = 126$ mm bereit, für die Wellenlänge $\lambda_2 = 850$ nm eine Fokuslänge $f_2 = 125$ mm, und für die Wellenlänge $\lambda_3 = 1300$ nm eine Fokuslänge $f_3 = 124$ mm.

10 Somit stellt die Fokussieroptik 54d drei Fokuspunkte $39d_1$, $39d_2$ und $39d_3$ für die Strahlungen der Wellenlängen λ_1 , λ_2 und λ_3 bereit, welche in Strahlrichtung nacheinander mit einem Abstand von jeweils einem Millimeter voneinander angeordnet sind.

15 Ist das Interferometersystem 41d, welches teilweise in Figur 11 dargestellt ist, an einem Koordinatenmeßgerät gemäß Figur 1 montiert, so ist es möglich, den Meßkopf einem zu vermessenden Objekt soweit anzunähern bis eine Anordnung 20 der Objektoberfläche in der Nähe des mittleren Fokuspunkts $39d_2$ registriert wird. Sodann erfolgt eine Bewegung des Meßkopfes lateral entlang der Objektoberfläche, das heißt quer zur Richtung des Strahls 48d, und eine Bewegung des Meßkopfes erfolgt dann in -z-Richtung, das heißt in Figur 1 25 nach unten, wenn eine Anordnung der Objektoberfläche in einem Bereich nahe dem Fokuspunkt $39d_1$ registriert wird, und sie erfolgt in umgekehrte z-Richtung, das heißt nach oben, wenn eine Anordnung der Objektoberfläche in einer Nähe des Fokuspunkts $39d_3$ registriert wird.

30 Auf diese Weise ist es einfach möglich, die Oberfläche des Objekts abzutasten und deren Koordinaten mit Hilfe des Koordinatenmeßgerätes gemäß Figur 1 zu ermitteln.

Ein in Figur 12 schematisch dargestelltes Interferometer-
system 41e weist einen ähnlichen Aufbau auf wie das in Fi-
gur 2 gezeigte Interferometersystem.

- 5 Im Unterschied hierzu ist allerdings ein Strahlteiler 49e
zur Zuführung von Detektionsstrahlung zu einem Detektor 61e
mit einem Glaskörper 51e zur Bereitstellung der beiden mit
Abstand l_1 voneinander angeordneten Grenzflächen 52e und 53e
des Interferometersystems 41e vereinigt, das heißt eine
10 teilreflektierende Fläche 49e des Strahlteilers ist inner-
halb des Glaskörpers 51e angeordnet.

Bei der Ausführungsform gemäß Figur 6 sind zwei separate
Detektoren 61b und 101 zur Detektion der kurzkohärenten
15 Strahlung der Quelle 43b bzw. zur Detektion der langkohä-
renten Strahlung der Quelle 91 vorgesehen. Es ist jedoch
auch möglich, für beide Strahlung einen gemeinsamen Detek-
tor vorzusehen, dessen Detektionssignal parallel der Fre-
quenzanalyseschaltung 103 und dem Bandpaßfilter 37b zuge-
20 führt wird.

Ebenso ist es möglich, bei der in Figur 8 dargestellten
Ausführungsform einen gemeinsamen Detektor für die Strah-
lungen der Wellenlängen λ_1 und λ_2 bereitzustellen und dessen
25 Detektionssignal parallel den beiden Bandpaßfiltern 73c₁ und
73c₂ zuzuführen.

Ferner ist es möglich, bei der Ausführungsform gemäß Figu-
ren 8, 9 und 10 sowie bei der Ausführungsform gemäß Figur
30 11 die mehreren Lichtquellen für die Wellenlängen λ_1 und λ_2
bzw. λ_1 , λ_2 und λ_3 in einer gemeinsamen Lichtquelle mit än-
derbarer Wellenlänge zu integrieren, deren Emissionswellen-
länge dann abwechselnd auf die Werte λ_1 , λ_2 und λ_3 einge-
stellt wird.

Bei der anhand der Figur 5 beschriebenen Ausführungsform wird eine der Grenzflächen des Grenzflächenpaars mittels eines Aktuators quer zur Orientierung der Grenzfläche verlagert. Es ist jedoch ebenfalls möglich, beide Grenzflächen des Grenzflächenpaars gemeinsam zu verlagern, genauso wie es möglich ist, den Glaskörper in den Ausführungsformen gemäß Figur 2 ff. in Richtung quer zur Orientierung der Grenzflächen zu verlagern.

10

Die vorliegende Erfindung ermöglicht, auch in engen Kanälen, z.B. Bohrungen, hochgenau zu messen, insbesondere axial. Ferner kann der Fokus und damit die Lateralauflösung wesentlich kleiner gestaltet werden als bei einem konventionellen taktilen Taster.

15

Die vorbeschriebenen Messanordnungen und -verfahren können aber außer bei der Werkstückvermessung auch bei jeder anderen OCT-Anwendung zum Einsatz kommen.

20

Zusammenfassend wird ein Interferometersystem insbesondere zur Verwendung für ein Koordinatenmeßgerät vorgeschlagen, wobei das Interferometersystem in einem Beleuchtungsstrahlengang ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten Grenzflächen aufweist und eine einem Objekt zuweisende Grenzfläche des Grenzflächenpaars in einem Detektionsstrahlengang angeordnet ist, wobei in dem Detektionsstrahlengang ferner eine Strahlungsweiche und ein Detektor angeordnet sind. Ferner wird ein Interferometersystem, insbesondere der vorangehend geschilderten Art, vorgeschlagen, welches ein Geschwindigkeitsmeßsystem zur Erfassung einer Relativgeschwindigkeit zwischen dem Meßkopf und dem Objekt aufweist, wobei ein Frequenzfilter des Interferometersystems in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit eingestellt wird.

5

Patentansprüche

1. Interferometersystem mit einem Meßkopf (36) zum Senden von Beleuchtungsstrahlung (48) auf ein Objekt (9) und zum Empfang von von dem Objekt (9) zurückgeworfener Detektionsstrahlung (57), wobei eine Anordnung des Meßkopfes (36) mit einem Arbeitsabstand von dem Objekt (9) vorgesehen ist, und wobei das Interferometersystem (41) eine erste Strahlungsquelle (43) zur Bereitstellung von Strahlung (45) mit einer vorbestimmten ersten Kohärenzlänge, welche kleiner ist als der Arbeitsabstand, ein Paar von mit Abstand voneinander angeordneten teilreflektierenden Grenzflächen (52, 53) und einen Detektor (61) umfaßt, wobei

20 eine erste Grenzfläche (53) des Grenzflächenpaars (52, 53) in einem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und dem Objekt (9) angeordnet ist,

25 eine zweite Grenzfläche (52) des Grenzflächenpaars (52, 53) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und

30 die erste Grenzfläche (53) in einem Detektionsstrahlengang zwischen dem Objekt (9) und dem Detektor (61) angeordnet ist.

35 2. Interferometersystem nach Anspruch 1, ferner umfassend eine Strahlungsweiche (49), welche in dem

Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der ersten Grenzfläche (53) angeordnet ist, und in dem Detektionsstrahlengang zwischen der ersten Grenzfläche (53) und dem Detektor (6) angeordnet ist.

5

3. Interferometersystem nach Anspruch 2, wobei die Strahlungsweiche (49) in dem Beleuchtungsstrahlengang zwischen der Strahlungsquelle (43) und der zweiten Grenzfläche (52) angeordnet ist.

10

4. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei wenigstens die erste Grenzfläche (53) eine Komponente des Meßkopfes (36) ist und wobei, bei Anordnung des Meßkopfes (36) mit dem Arbeitsabstand von dem Objekt, eine erste optische Weglänge (l_2) zwischen der ersten Grenzfläche (53) und dem Objekt (9) im wesentlichen gleich einer zweiten optischen Weglänge (l_1) zwischen den beiden Grenzflächen (52, 53) ist.

20

5. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die erste Kohärenzlänge kleiner als das 0,3fache des Arbeitsabstands ist, insbesondere kleiner als das 0,07fache und weiter bevorzugt kleiner als das 0,01fache des Arbeitsabstands ist.

25

6. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Meßkopf (36) eine Fokussieroptik (54) zur Fokussierung der von der ersten Strahlungsquelle (43) bereitgestellten Strahlung (45) in einem ersten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39) aufweist, welcher mit einem Abstand von dem Meßkopf (36) angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht.

30

7. Interferometersystem nach Anspruch 6, wobei die von der ersten Strahlungsquelle (43c₁) bereitgestellte Strahlung (45c₁) eine erste Wellenlänge (λ_1) aufweist und das Interferometersystem (41c) ferner wenigstens eine zweite Strahlungsquelle (43c₂) zur Bereitstellung von Strahlung (45c₂) einer zweiten Wellenlänge (λ_2) umfaßt, welche in dem Beleuchtungsstrahlengang der von der ersten Strahlungsquelle (43c₁) bereitgestellten Strahlung (45c₁) überlagert ist.

10

8. Interferometersystem nach Anspruch 7, wobei die Fokussieroptik (45c) die von der zweiten Strahlungsquelle (43c₂) bereitgestellte Strahlung (45c₂) in einem zweiten Beleuchtungsstrahlungsfokus (39c₂) fokussiert, welcher ebenfalls mit einem Abstand von dem Meßkopf angeordnet ist, der im wesentlichen dem Arbeitsabstand entspricht, allerdings von dem ersten Beleuchtungsstrahlfokus (39c₁) einen Abstand aufweist.

15

20

9. Interferometersystem nach Anspruch 7 oder 8, wobei der Detektor zur Detektion der von der ersten und der zweiten Strahlungsquelle (43c₁, 43c₂) bereitgestellten Strahlung (45c₁, 45c₂) jeweils verschiedene Teildetektoren (61c₁, 61c₂) umfaßt.

25

30

10. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Meßkopf (36a) einen Antrieb (85) aufweist, um wenigstens eine Grenzfläche (53a) des Grenzflächenpaars (52a, 53a) relativ zu dem Meßkopf (36a) zu verlagern.

11. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Grenzflächenpaar durch einen transparenten Körper (51) mit zwei planparallelen

einander gegenüberliegenden Oberflächen (52, 53) bereitgestellt ist.

12. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Grenzflächenpaar (52a, 52b) durch zwei mit Abstand voneinander angeordnete transparente Platten (81, 82) bereitgestellt ist.

13. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Grenzflächenpaar durch zwei mit Abstand voneinander in einer Glasfaser angeordnete teilreflektierende Strukturen bereitgestellt ist.

14. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei der Meßkopf relativ zu dem Objekt mit einer Verlagerungsgeschwindigkeit verlagerbar ist, und wobei das Interferometersystem ferner eine erste Auswerteschaltung umfaßt, welche dazu ausgebildet ist, ein von dem Detektor bereitgestelltes Meßsignal in 20 Abhängigkeit von der Verlagerungsgeschwindigkeit auszuwerten.

15. Interferometersystem nach Anspruch 14, wobei die erste Auswerteschaltung einen Bandpaßfilter umfaßt, dessen Mittenfrequenz in Abhängigkeit von der 25 Verlagerungsgeschwindigkeit einstellbar ist.

16. Interferometersystem, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 15, mit einem Meßkopf (36b) zum Senden von Strahlung auf ein Objekt (9b) und zum Empfang von von dem Objekt (9b) zurückgeworfener Strahlung, wobei eine Anordnung des Meßkopfes (36b) mit einem Arbeitsabstand (l_2) von dem Objekt (9b) vorgesehen ist,

wobei das Interferometersystem (41b) einen ersten Strahlengang für Strahlung (45b) einer vorbestimmten kurzen ersten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem ersten Strahlengang der Reihe nach eine erste Strahlungsquelle (43b) zur Bereitstellung der Strahlung (45b) mit der ersten Kohärenzlänge, eine dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b), das Objekt (9b), die dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und ein erster Detektor (61b) angeordnet sind,

wobei das Interferometersystem einen zweiten Strahlengang für Strahlung (92) einer vorbestimmten langen dritten Kohärenzlänge aufweist, wobei in dem zweiten Strahlengang der Reihe nach eine dritte Strahlungsquelle (91) zur Bereitstellung der Strahlung (92) mit der dritten Kohärenzlänge, die dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b), das Objekt, die dem Objekt (9b) nächstliegende Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und ein zweiter Detektor (101) angeordnet sind,

und wobei das Interferometersystem ferner eine erste Auswerteschaltung umfaßt, welche dazu ausgebildet ist, ein von dem ersten Detektor bereitgestelltes erstes Meßsignal in Abhängigkeit von einem von dem zweiten Detektor bereitgestellten zweiten Meßsignal auszuwerten.

30 17. Interferometersystem nach Anspruch 16, ferner umfassend eine zweite Auswerteschaltung (103) für das von dem zweiten Detektor (101) bereitgestellte zweite Meßsignal und zur Bereitstellung eines eine Modulationsfrequenz (f_2) des von dem zweiten Detektor

(101) bereitgestellten zweiten Meßsignals repräsentierenden Frequenzsignals, wobei die erste Auswerteschaltung dazu ausgebildet ist, das von dem ersten Detektor bereitgestellte erste Meßsignal in Abhängigkeit von dem Frequenzsignal auszuwerten.

5
18. Interferometersystem nach Anspruch 16 oder 17, wobei die erste Auswerteschaltung einen Bandpaßfilter umfaßt, dessen Mittenfrequenz in Abhängigkeit von dem von dem zweiten Detektor bereitgestellten zweiten Meßsignal einstellbar ist.

10
19. Interferometersystem nach Anspruch 18, wobei eine innerhalb eines Frequenzbands des Bandpaßfilters angeordnete Frequenz f_1 die Gleichung

$$f_1 = \frac{\lambda_3}{\lambda_1} \cdot f_2$$

15
erfüllt, wobei

20
 f_2 eine Modulationsfrequenz (f_2) des von dem zweiten Detektor (101) ausgegebenen zweiten Meßsignals ist,

λ_1 eine Wellenlänge der Strahlung (45b) der ersten Kohärenzlänge ist und

λ_3 eine Wellenlänge der Strahlung (92) der dritten Kohärenzlänge ist.

25
20. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 16 bis 19, wobei der erste und der zweite Strahlengang zwischen dem Meßkopf (36b) und dem Objekt (9b) einander überlagert sind.

30
21. Interferometersystem nach einem der Ansprüche 16 bis 20, ferner umfassend eine in dem ersten Strahlengang

zwischen einer dem Objekt (9b) nächstliegenden Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und dem ersten Detektor (61b) und in dem zweiten Strahlengang zwischen der dem Objekt (9b) nächstliegenden Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und dem zweiten Detektor (101) angeordnete Strahlweiche (97), wobei der erste und der zweite Strahlengang zwischen der dem Objekt (9b) nächstliegenden Komponente (54b) des Meßkopfes (36b) und der Strahlweiche (97) einander überlagert sind.

22. Meßvorrichtung, umfassend:

eine Plattform (7) zur Anbringung eines Objekts (9),

15 das Interferometersystem (41) nach einem der Ansprüche 1 bis 21,

20 eine den Meßkopf des Interferometersystems tragende Verlagerungsmechanik zur Verlagerung des Meßkopfes (36) relativ zu der Plattform (7), und

25 eine Ausgabeschnittstelle, zur Bereitstellung eines eine Oberflächenkoordinate des Objekts relativ zu der Plattform repräsentierenden Positionssignals.

23. Verfahren zum Positionieren eines Meßkopfes mit einem vorbestimmten Arbeitsabstand von einem Objekt, umfassend:

30 Bereitstellen eines Interferometersystems, welches ein Abstandssignal bereitstellt, welches anzeigt, ob der Meßkopf mit einem Abstand von dem Objekt angeordnet

ist, der im wesentlichen gleich dem Arbeitsabstand ist, oder nicht, und

5 Bereitstellen eines Geschwindigkeitsmeßsystems, welches ein Geschwindigkeitssignal bereitstellt, welches eine Relativgeschwindigkeit zwischen dem Objekt und dem Meßkopf repräsentiert,

10 wobei das Bereitstellen des Abstandssignals in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal erfolgt.

24. Verfahren nach Anspruch 23, wobei das Bereitstellen des Abstandssignals eine Frequenzfilterung eines von einem Detektor des Interferometersystems bereitgestellten Meßsignals umfaßt und die Frequenzfilterung in Abhängigkeit von dem Geschwindigkeitssignal erfolgt.

25. Verfahren nach Anspruch 24, wobei die Frequenzfilterung eine Bandpaßfilterung umfaßt.

26. Weißlichtinterferometer, umfassend:

25 eine Weißlichtquelle, einen Lichtdetektor, einen Bandpaßfilter für ein von dem Lichtdetektor bereitgestelltes Meßsignal, und eine Eingabeschnittstelle, wobei eine Mittenfrequenz des Bandpaßfilters in Abhängigkeit von einem über die Eingabeschnittstelle zugeführten Frequenzsignal änderbar ist.

30 35 27. Weißlichtinterferometer nach Anspruch 26, ferner umfassend eine Geschwindigkeitsmeßschaltung oder/und eine Treiberschaltung für einen Aktuator, welche mit ihrer Ausgabeschnittstelle an die Eingabeschnittstelle angeschlossen sind.

1/11

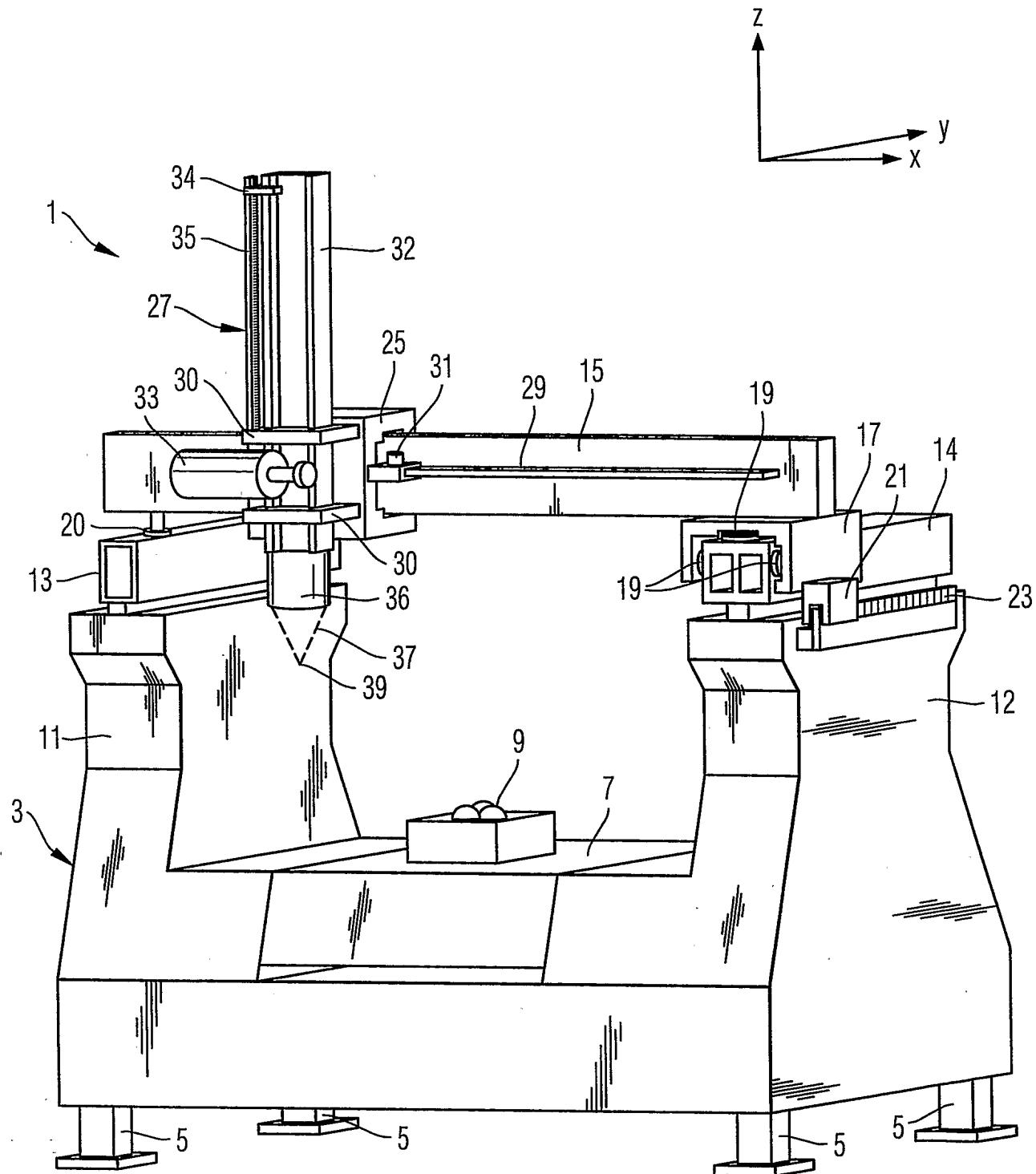


Fig. 1

2/11

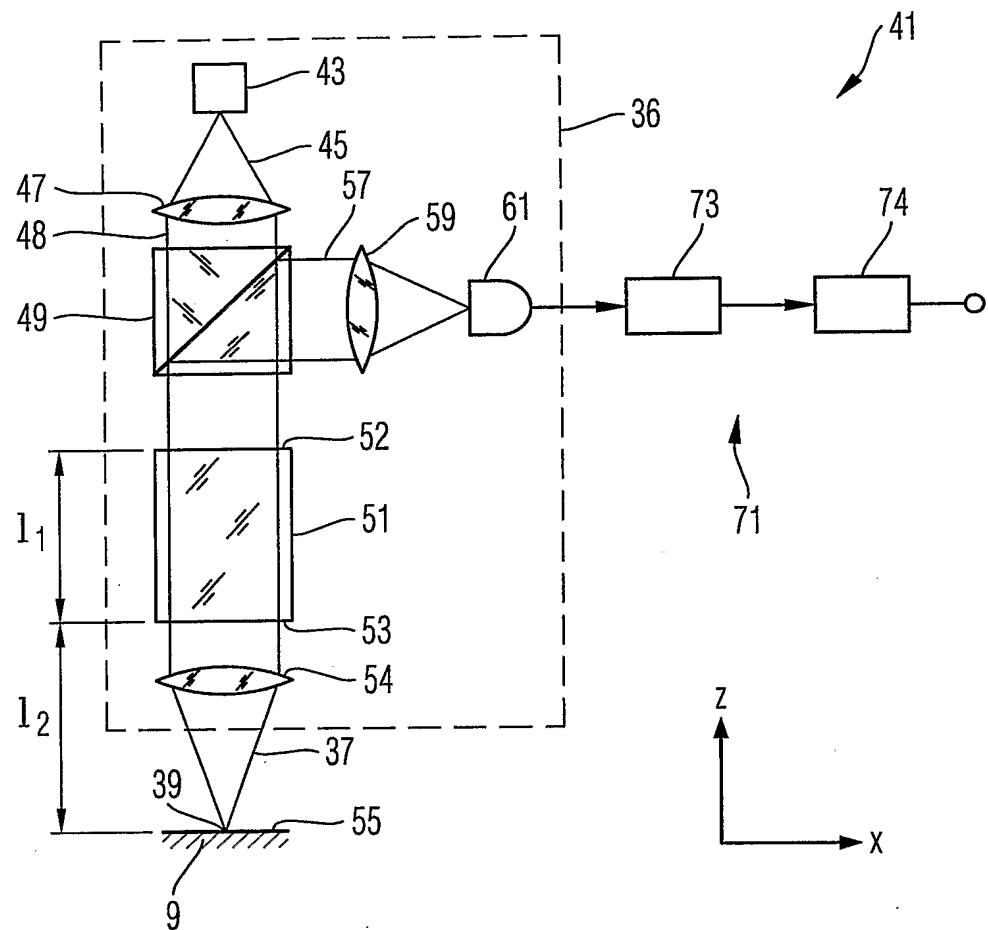


Fig. 2

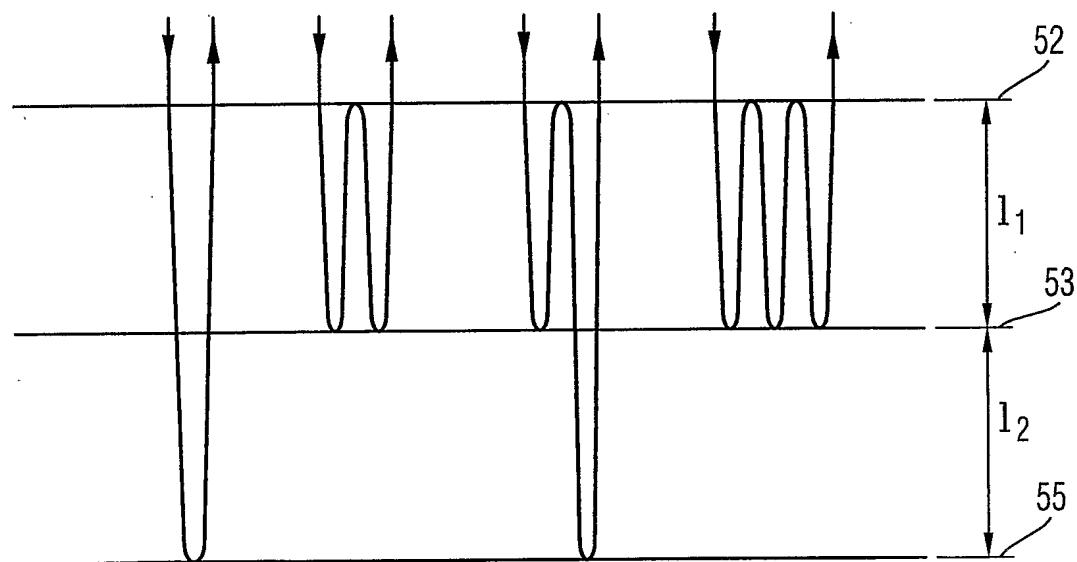


Fig. 3

(I)

(II)

(III)

(IV)

3/11

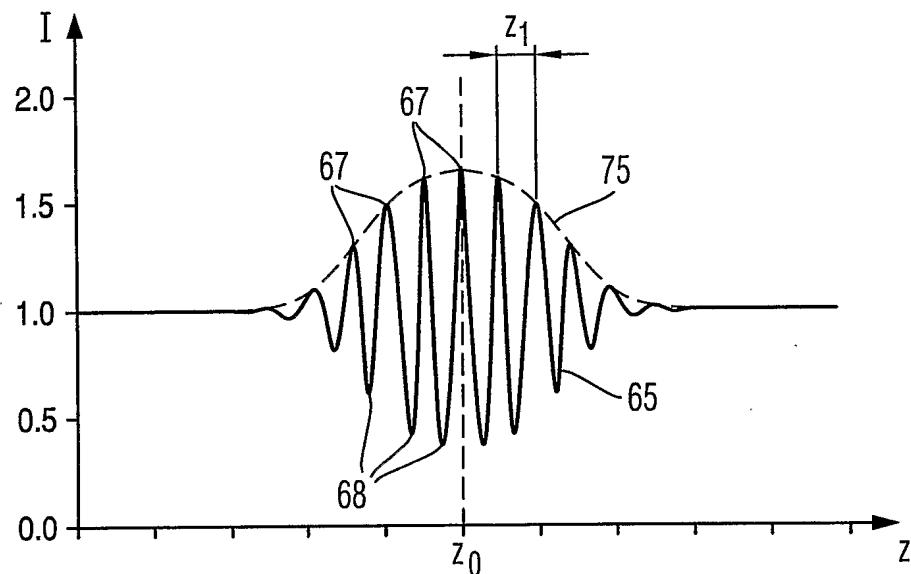


Fig. 4

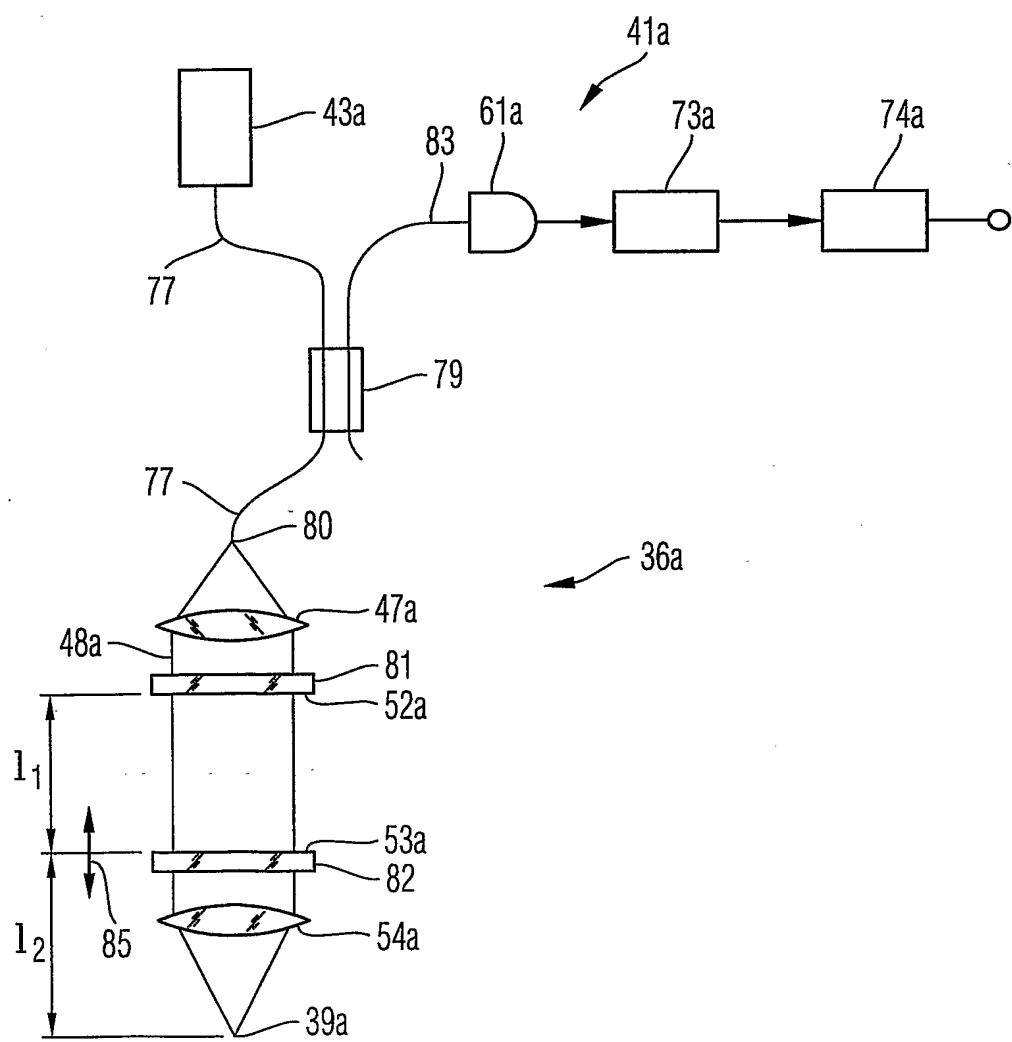


Fig. 5

4/11

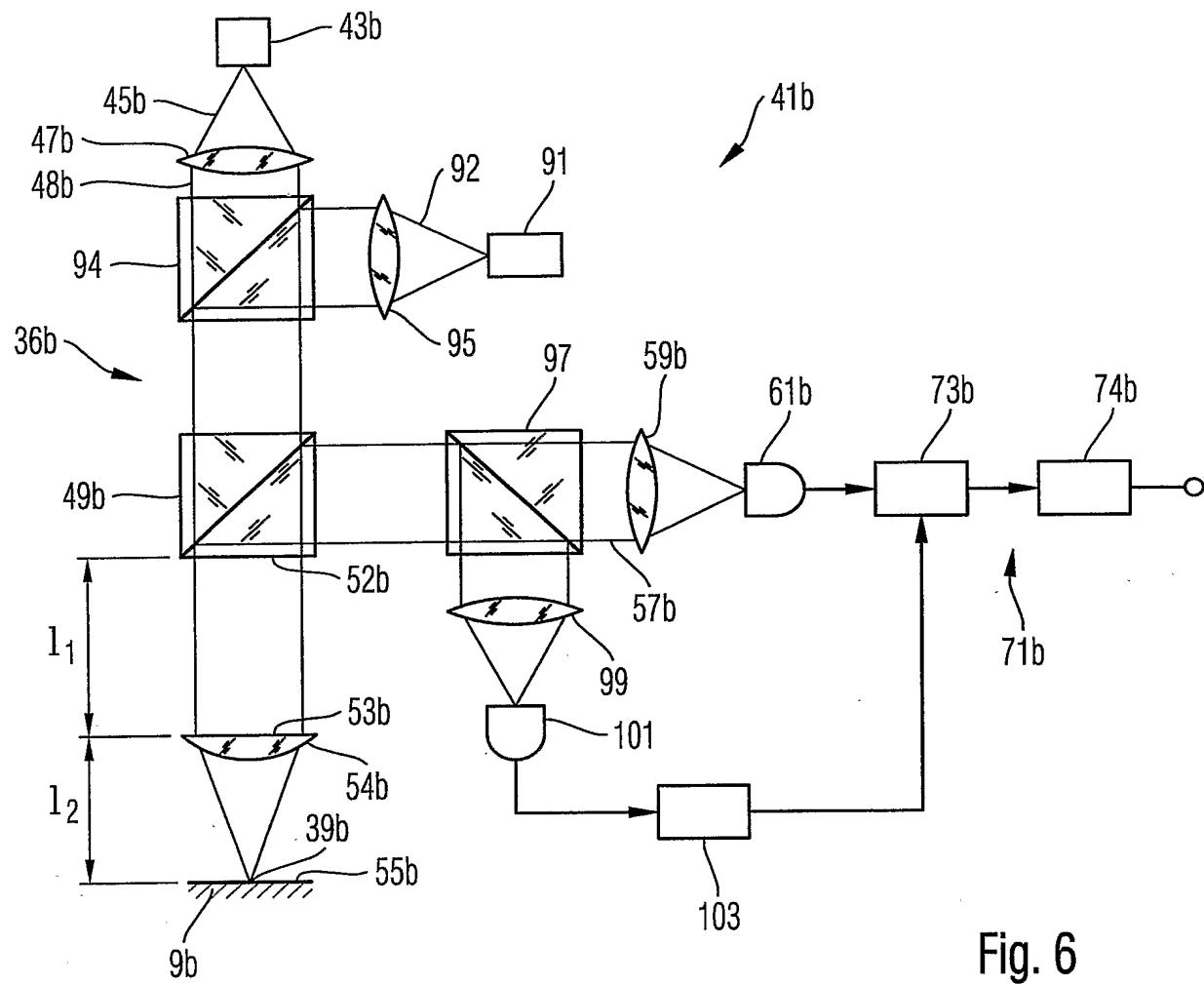


Fig. 6

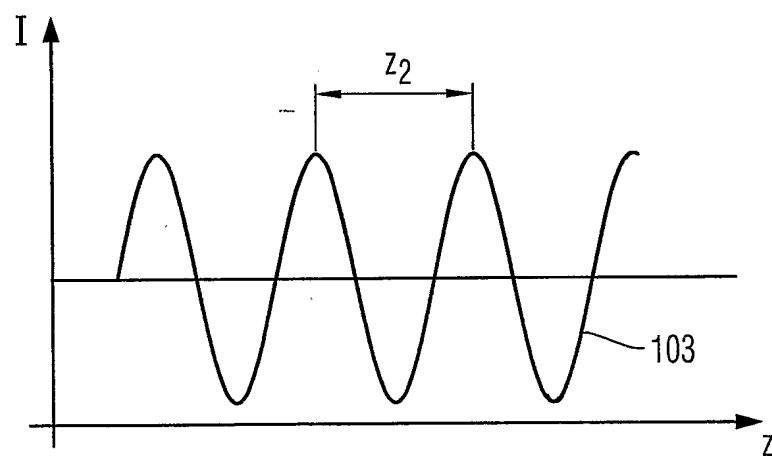


Fig. 7

5/11

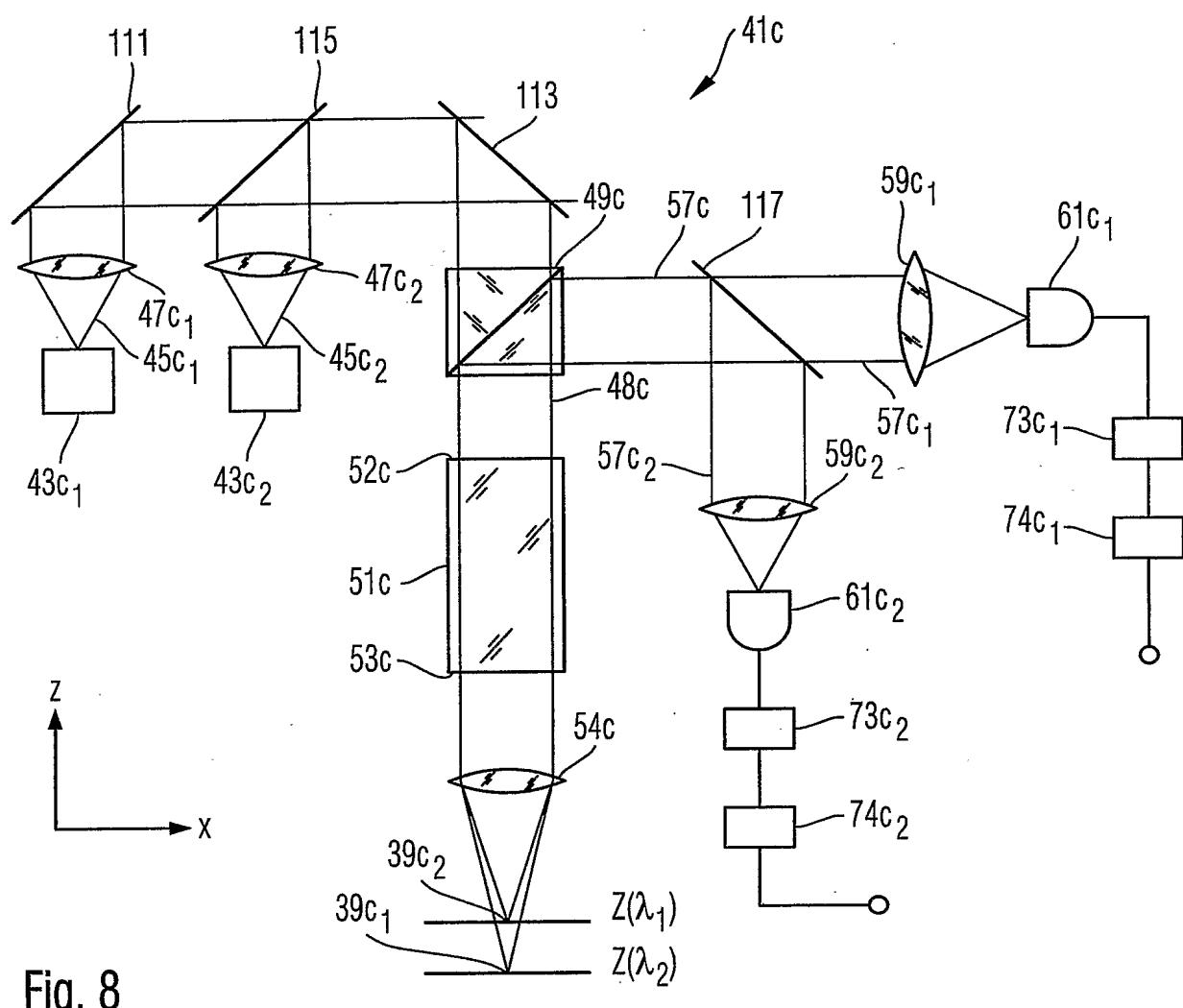


Fig. 8

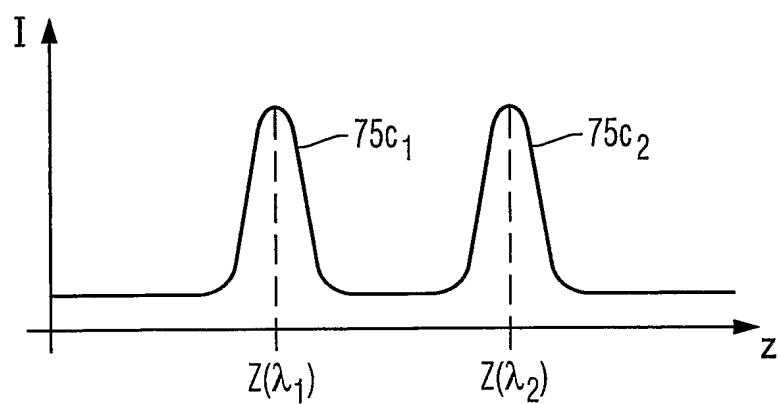


Fig. 9

6/11

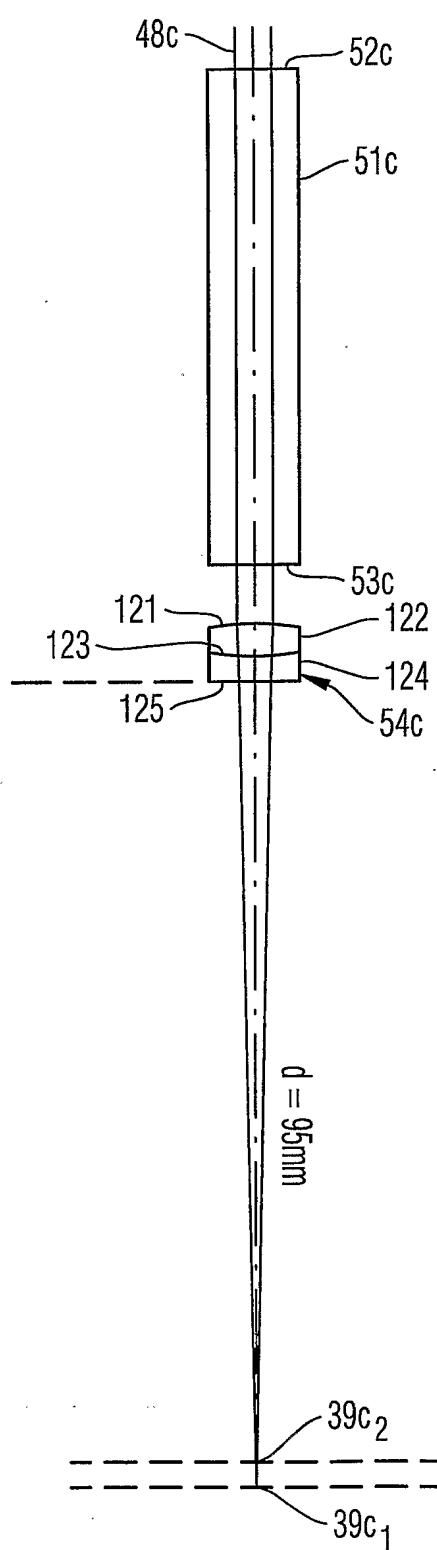


Fig. 10

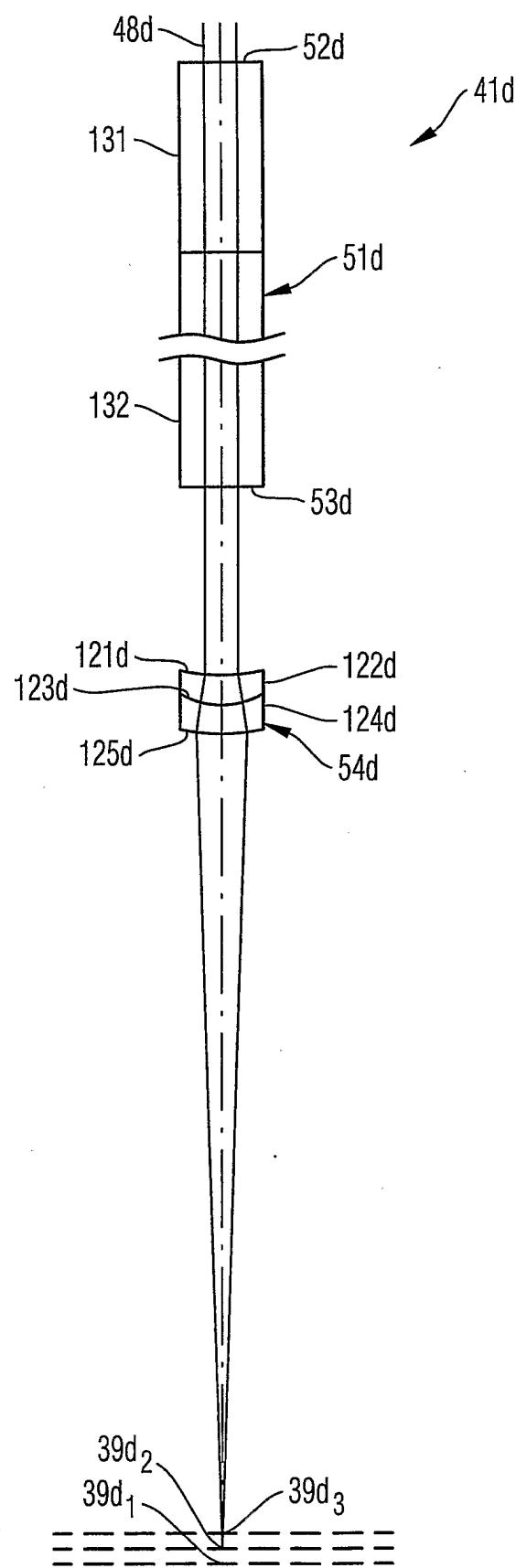


Fig. 11

7/11

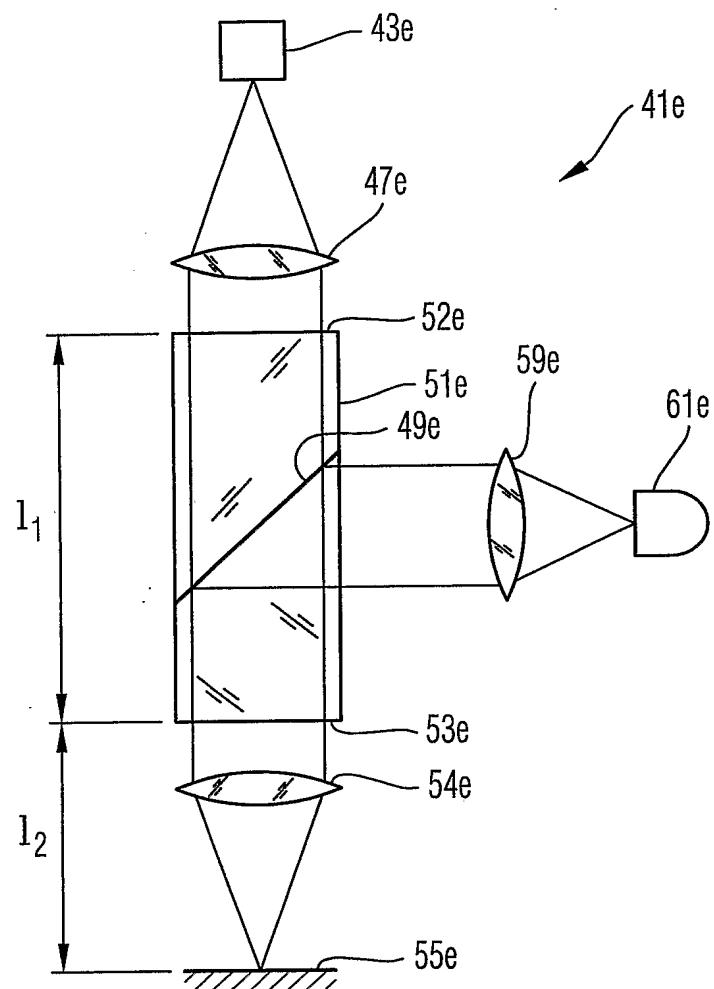


Fig. 12

8/11

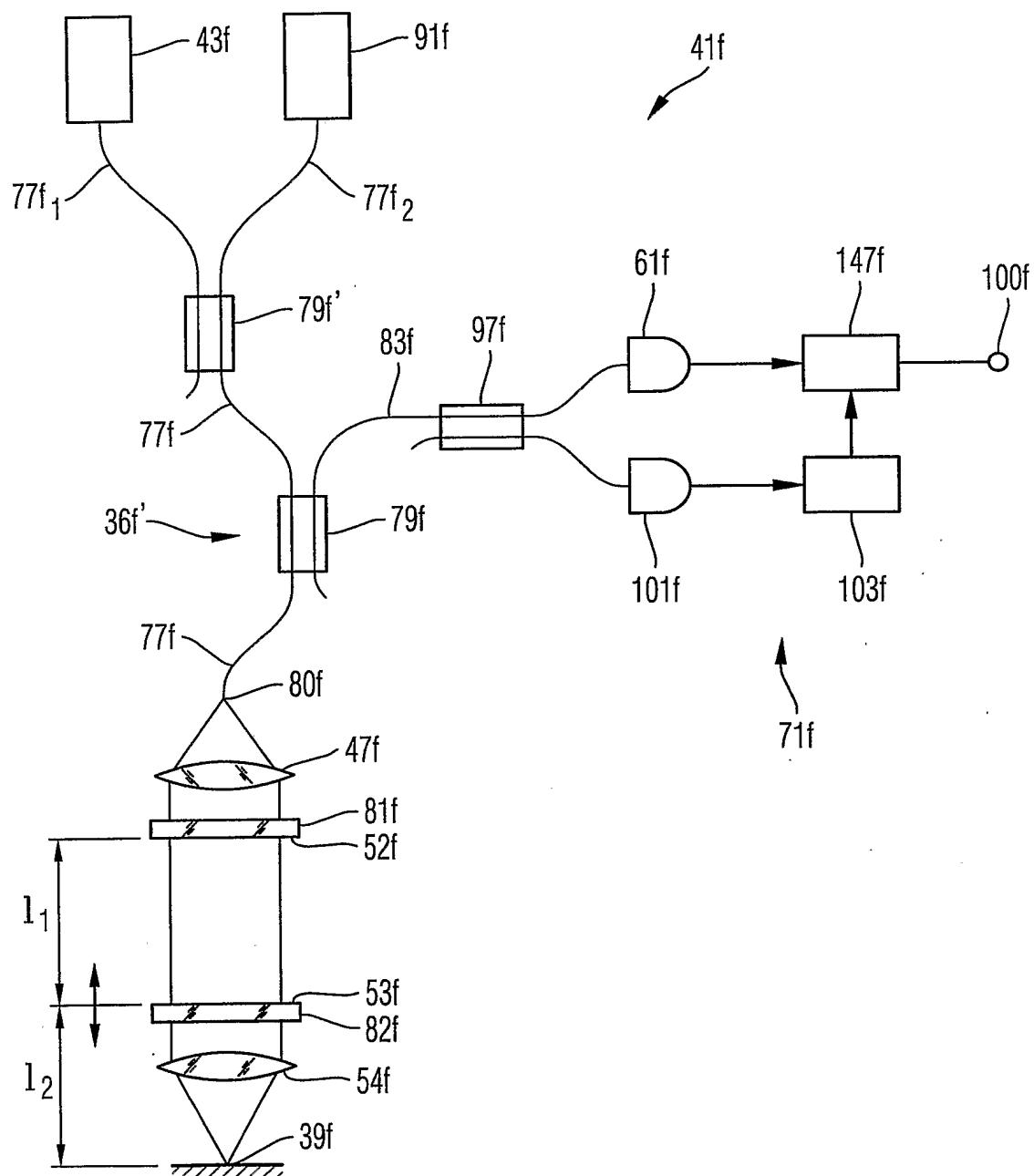


Fig. 13

9/11

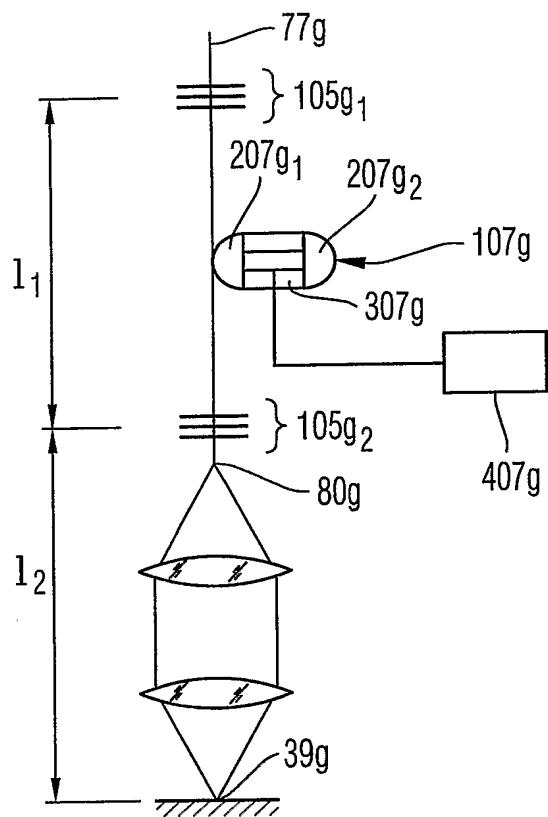


Fig. 14

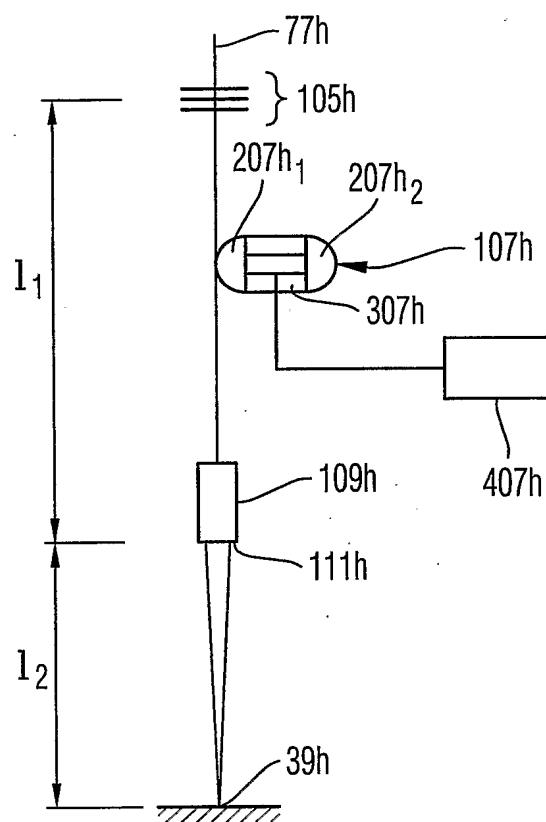


Fig. 15

10/11

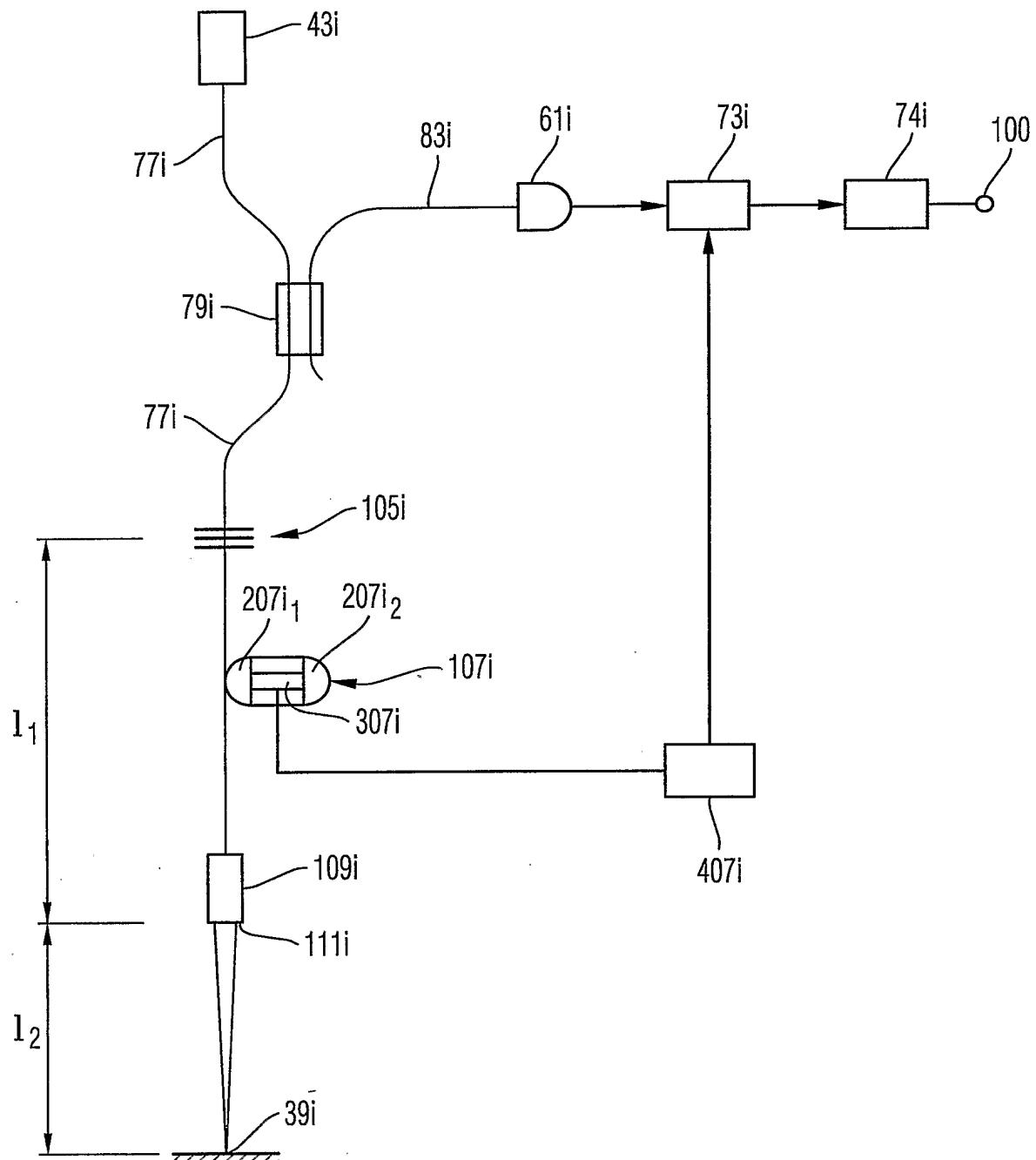


Fig. 16

11/11

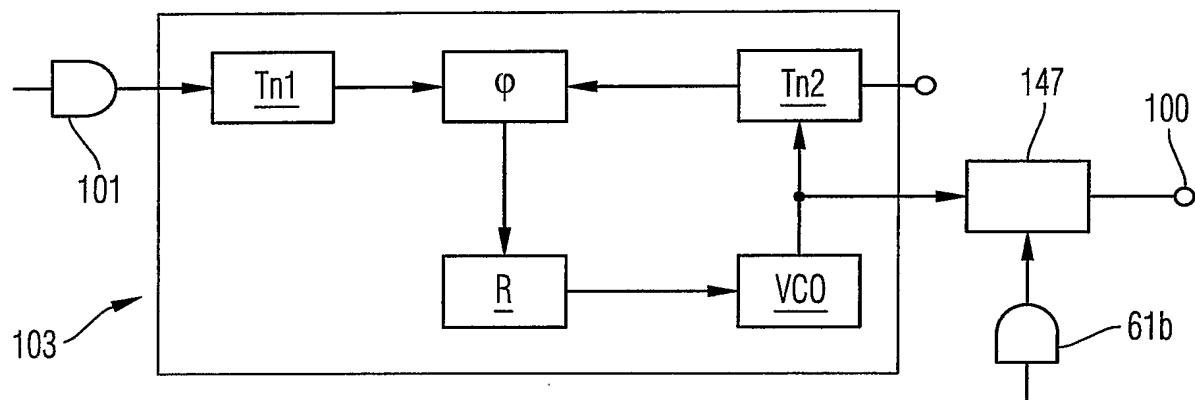


Fig. 17

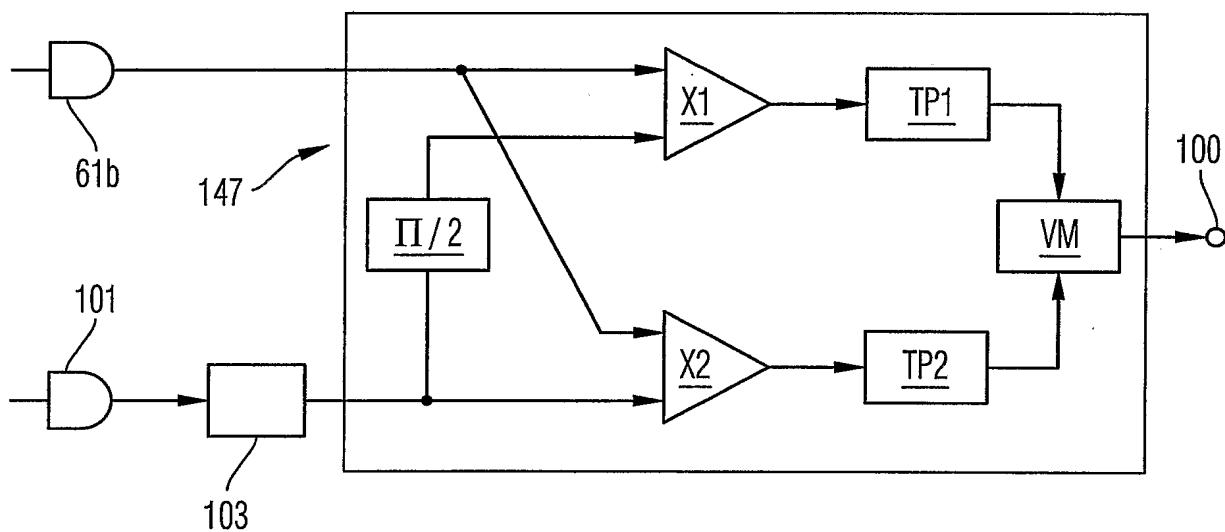


Fig. 18

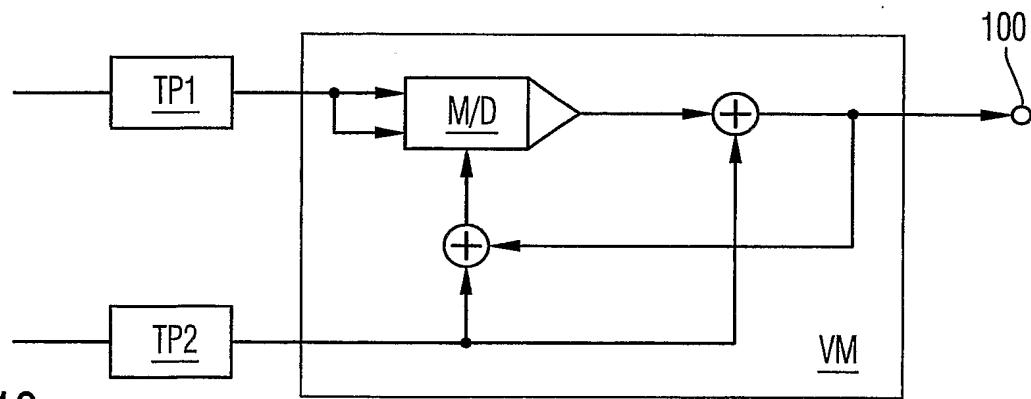


Fig. 19